

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Behelfsverkehrsführungen an Autobahnarbeitsstellen unter Berücksichtigung der Querschnittsabmessungen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor - Ingenieur

an der Fakultät Bauingenieurwesen

der

Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Name: Lars-Henning Fischer

aus: Rotenburg a. d. Fulda

Gutachter: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Brannolte

2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhold Maier

3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ursula Freundt

Tag der Disputation: 12.05.2009

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhalt

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung und Problemstellung | 1 |
| 1.1 Einleitung und Problemstellung | 1 |
| 1.2 Zielstellung | 4 |
| 1.3 Abgrenzung der Aufgabenstellung | 5 |
| 1.4 Vorgehensweise | 6 |
| 2. Ausgangslage | 7 |
| 2.1. Randbedingungen | 7 |
| 2.1.1. Behelfsverkehrsführungen im Zuge von Arbeitsstellen längerer Dauer | 7 |
| 2.1.2. Systeme zur Fahrtrichtungstrennung bei Behelfsverkehrsführungen | 11 |
| 2.1.3. Einsatzmöglichkeiten von Behelfsverkehrsführungen und Trennungssystemen bei bestimmten Fahrbahnbreiten | 14 |
| 2.1.4. Bevorzugte Verkehrsführungen, bevorzugte Trennungssysteme | 16 |
| 2.1.5. Mindestfahrstreifenbreiten | 17 |
| 2.2. Struktur der Arbeitsstellen in der Praxis | 19 |
| 2.2.1. Verkehrsführungen und Trennungssysteme | 19 |
| 2.2.2. Arbeitsstellenlänge | 20 |
| 2.2.3. Umfang, Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen längerer Dauer an Autobahnen | 22 |
| 2.2.4. Maßnahmen bei nicht ausreichender Breite der befestigten Fläche | 25 |
| 2.3. Volkswirtschaftliche Bewertung von Straßen | 28 |
| 2.3.1. Bewertungsverfahren | 28 |
| 2.3.2. Relevante verkehrliche Einflussfaktoren | 30 |
| 2.4. Wirkungszusammenhänge | 32 |
| 2.5. Bestehende Erkenntnisse zu den Wirkungen von Behelfsverkehrsführungen auf Verkehrsablauf, Fahrerverhalten und Verkehrssicherheit | 33 |
| 2.5.1. Verkehrsablauf | 33 |
| 2.5.2. Spurverhalten von Kraftfahrzeugen | 37 |
| 2.5.3. Verkehrssicherheit in Autobahnarbeitsstellen | 43 |
| 2.6. Erkenntnisse aus Forschungsprojekten an der Bauhaus-Universität Weimar | 50 |
| 2.6.1. Projektvorstellung | 50 |
| 2.6.2. Verkehrsablauf und Fahrerverhalten | 51 |
| 2.6.3. Verkehrssicherheit | 52 |
| 2.6.4. Investitionskosten | 54 |
| 2.6.5. Änderung der Investitionskosten aufgrund der gewählten Behelfsverkehrsführung und des vorhandenen Straßenquerschnittes | 56 |
| 2.6.6. Laufende Kosten | 56 |

| | |
|--|-------|
| | Seite |
| 2.7. Zusammenfassung | 58 |
| 3. Eigene Untersuchungen | 59 |
| 3.1. Untersuchungsgegenstand | 59 |
| 3.2. Untersuchung der Fahrstreifenbreiten | 59 |
| 3.2.1. Methodik | 59 |
| 3.2.2. Ergebnisse | 62 |
| 3.2.3. Ableitung von Mindestfahrstreifenbreiten | 66 |
| 3.3. Auswirkungen auf das Unfallgeschehen | 69 |
| 3.3.1. Struktur der Unfälle | 69 |
| 3.3.2. Bewertung der Verkehrssicherheit | 72 |
| 3.4. Einfluss der Verkehrsführungen auf den Verkehrsablauf | 80 |
| 3.4.1. Verteilung auf die Fahrstreifen | 80 |
| 3.4.2. Fahrzeuggeschwindigkeiten in Autobahnarbeitsstellen | 84 |
| 3.5. Auswirkungen der Fahrstreifenbreite auf den Straßenoberbau | 89 |
| 4. Bewertungsverfahren | 97 |
| 4.1. Auswahl eines Bewertungsverfahrens | 97 |
| 4.2. Untersuchte Varianten, Betrachtungszeitraum, Betriebszustände und Verkehrsstärken | 98 |
| 4.2.1. Varianten | 98 |
| 4.2.2. Betrachtungszeitraum | 99 |
| 4.2.3. Betriebszustände | 99 |
| 4.2.4. Verkehrsstärken | 101 |
| 4.3. Umsetzung des Bewertungsverfahrens | 102 |
| 4.3.1. Wahl der Nutzen- und Kostenkomponenten | 102 |
| 4.3.2. Berechnung der Kosten und Nutzen | 105 |
| 4.4. Kostenwirksame Komponenten | 105 |
| 4.4.1. Investitionskosten | 105 |
| 4.4.2. Laufende Kosten | 108 |
| 4.5. Nutzenwirksame Komponenten | 109 |
| 4.5.1. Verkehrliche Einflussgrößen | 109 |
| 4.5.2. Berechnungsansätze für Fahrzeuggeschwindigkeiten und Unfallkostenrate im Normalverkehrszustand | 109 |
| 4.5.3. Einfluss der Varianten auf Fahrzeuggeschwindigkeiten und Unfallkostenraten im Falle von Arbeitsstellen längerer Dauer | 111 |
| 4.5.4. Monetarisierung der Komponenten | 116 |
| 4.6. Variation von Eingangsgrößen und Berechnungsansätzen | 117 |
| 5. Durchführung der Bewertung | 121 |
| 5.1. Aufbereitung der Berechnungsergebnisse | 121 |
| 5.2. Berechnungsergebnisse | 122 |
| 5.2.1. Berechnungsansatz mittlere Baukosten | 122 |
| 5.2.2. Berechnungsansatz hohe Baukosten | 124 |

| | Seite |
|--|-------|
| 5.2.3. Berechnungsansatz niedrige Baukosten | 125 |
| 5.2.4. Variation der Baukostenaufteilung und Variation der Ermittlung der Anteile des DTV_w , DTV_u und DTV_s | 125 |
| 5.2.5. Variation weiterer Einflussgrößen | 126 |
| 5.2.6. Zusammenhang zwischen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten der Arbeitsstellendauer | 128 |
| 5.2.7. Schlussfolgerungen | 130 |
| 5.3. Nutzen der Fahrbahnverbreiterung hinsichtlich Arbeitsstellen kürzerer Dauer | 132 |
| 5.4. Kosten für eine Fahrbahnverbreiterung bei denen anhand der durchgeführten Vergleiche VX.3 gerade volkswirtschaftlich sinnvoll ist | 136 |
| 5.5. Bereich von 30.000 bis 40.000 Kfz/24h – Einsatzgrenze der Behelfsverkehrsführung 3s+0 | 137 |
| 5.6. Vergleich der untersuchten Varianten mit einem Querschnitt mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche | 138 |
| 5.7. Einsatzempfehlungen | 141 |
| 5.8. Alternative Ziele als Auswahlkriterium | 143 |
| 5.8.1. Wahl der alternativen Ziele | 143 |
| 5.8.2. Auswahlkriterium: Baulastträgerkosten | 143 |
| 5.8.3. Auswahlkriterium: Verkehrssicherheit | 144 |
| 5.8.4. Auswahlkriterium: Nutzerseitige Kosten | 146 |
| 5.8.5. Fazit der alternativen Bewertungsmethodik | 148 |
| 6. Resümee | 149 |
| 7. Literaturverzeichnis | 154 |
| 8. Abbildungsverzeichnis | 162 |
| 9. Tabellenverzeichnis | 165 |
| 10. Abkürzungsverzeichnis | 169 |
| Anlagenverzeichnis | 170 |
| Anlagen s. beiliegende CD | |

1. Einleitung und Problemstellung

1.1 Einleitung und Problemstellung

Im Bereich des Streckennetzes der Bundesautobahnen werden jährlich mehrere hundert Arbeitsstellen längerer Dauer eingerichtet. Im Jahr 2005 waren es laut Straßenbaubericht 2006 des BMVBS [BMVBS 2006] alleine rund 700 Baustellen mit einer Dauer vom mindestens 14 Tagen. Diese Arbeitsstellen müssen eingerichtet werden, um die bestehenden Strecken auszubauen oder zumindest den Gebrauchswert der vorhandenen Straßeninfrastruktur zu erhalten. Sie sind somit unverzichtbarer Bestandteil des Verkehrssystems Straße. Ein Verzicht auf Arbeitsstellen an Straßen würde langfristig zum Verlust des Anlagevermögens und der Leistungsfähigkeit der Bundesautobahnen und, angesichts der verkehrlichen Bedeutung der Autobahnen, vermutlich zum räumlich-zeitlich begrenzten Zusammenbruch des gesamten Verkehrssystems Straße führen.

Aus Arbeitsstellen an Straßen resultieren in der Regel jedoch auch Störungen des Verkehrsablaufes. Dies kann sich in einer geringeren Kapazität des Streckenabschnittes, in einer Einschränkung des Fahrers in seiner Geschwindigkeits- und Fahrstreifenwahlmöglichkeit und ferner in einer erhöhten Unfallgefahr ausdrücken. Die Arbeitsstellen können aufgrund der verkehrlichen Bedeutung und der Verkehrsbelastung der Autobahnen meist nicht im Rahmen einer länger andauernden Vollsperrung bzw. Sperrung einer Fahrtrichtung durchgeführt werden, sondern müssen in aller Regel „unter Verkehr“, also unter Aufrechterhaltung eines möglichst geringfügig eingeschränkten Verkehrsflusses, betrieben werden.

Um die Störungen des Verkehrsablaufes durch die Arbeitsstelle so gering wie möglich zu halten, sollen Anzahl und Abmessungen der zur Verfügung stehenden Fahrstreifen gegenüber dem baustellenfreien Zustand nach Möglichkeit nicht vermindert werden. Demgegenüber stehen allerdings die baulichen Anforderungen, die in der Regel bei Fahrbahnerneuerungsmaßnahmen zumindest eine teilweise Sperrung einer Richtungsfahrbahn erforderlich machen. Ebenso wird durch die baulichen Erfordernisse vorgegeben, welche Länge und welche Dauer die Arbeitsstelle hat. Länge und Dauer der Arbeitsstelle können zum Teil verändert werden. Hierbei sind jedoch bestimmte Zusammenhänge bzw. Zwangspunkte zu beachten. So lässt sich z. B. die Arbeitsstellenlänge zwar durch Aufteilung in mehrere Lose verkürzen. Dies wirkt sich jedoch auf die Bauzeit und die Kosten negativ aus, so dass es aus wirtschaftlich-technischen Erwägungen de facto eine bestimmte Mindestlänge für die Baumaßnahmen gibt. Weiterhin kann beispielsweise durch eine Beschleunigung der Baumaßnahmen, z. B. durch ein Zweischichtsystem, die Bauzeit verringert werden, allerdings geht dies in der Regel mit höheren Baukosten einher.

Für die Verkehrsführung im Bereich der Arbeitsstellen gelten die „Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen (RSA-95)“ [BMVBW 1995] sowie für ein Großteil der Bundesländer ergänzende Regelungen im Rahmen der jeweiligen Einführungserlas-



Bild 1-1: Autobahnarbeitsstelle mit einer Verkehrsführung 4s+0 und einer Fahrtrichtungstrennung mittels Stahlschutzwand. [FISCHER/BRANNOLTE 2006]

se der Länder. In den RSA-95 [BMVBW 1995] werden im Wesentlichen Standardverkehrsführungen definiert und deren bauliche und technische Ausgestaltung erläutert.

In der Praxis werden bei Arbeitsstellen längerer Dauer, bei denen eine Richtungsfahrbahn ganz oder teilweise gesperrt werden muss, meist die Verkehrsführungen 4s+0 und 3s+1 eingesetzt (siehe Bild 1-1). Bei diesen Verkehrsführungen werden beide Fahrtrichtungen ganz (4s+0) bzw.

teilweise (3s+1) auf einer Fahrbahn geführt. Zur Trennung beider Fahrtrichtungen sind gemäß den RSA-95 [BMVBW 1995] Markierungsnägel bzw. eine Markierung mit Sichtzeichen ausreichend.

In der Praxis haben sich zur Trennung des Gegenverkehrs jedoch transportable Schutzeinrichtungen, meist Stahlschutzwände durchgesetzt. Unterstützt wurde dies durch das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau ARS 18/1999 des BMVBW [BMVBW 1999] in dem aus Gründen der Verkehrssicherheit ausdrücklich der Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen gefordert wird. Solche Schutzeinrichtungen können aufgrund ihrer Bau- und Funktionsweise das Risiko vermindern, dass Fahrzeuge den eigenen Fahrstreifen verlassen und in die Fahrstreifen des Gegenverkehrs geraten. Somit lassen sich durch den Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen erhebliche Verbesserungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit erzielen. [vgl. FISCHER/BRANNOLTE 2006]

Für die Fahrstreifenbreiten werden in den RSA-95 [BMVBW 1995] Mindest- bzw. Regelwerte vorgegeben, die zum einen von der Lage und Funktion des Fahrstreifens abhängen. Zum anderen richtet sich die Mindestfahrstreifenbreite nach der Länge der Arbeitsstelle. Je länger die Arbeitsstelle, umso größer sind die Mindestbreiten des linken Fahrstreifens. Eine Unterschreitung der in den RSA-95 [BMVBW 1995] angegebenen Mindestbreiten ist in Ausnahmefällen d.h. kurzzeitig und auf geringer Länge, z. B. im Bereich von Straßenfertigern zur Erhöhung der Sicherheit der in der Arbeitsstelle Tätigen, möglich. Somit ergeben sich Werte für die Mindestbreite von Behelfsfahrstreifen von 2,50 m bis 3,25 m.

Für eine bestimmte Verkehrsführung, z. B. mit 4 Fahrstreifen (je Richtung 2) auf einer Fahrbahn (Verkehrsführung 4s+0), ergeben sich daraus bestimmte erforderliche Breiten, die als befestigte Fahrbahnfläche zur Verfügung stehen müssen, um diese Verkehrsführung in dem konkreten Fall einrichten zu können. Sieht man entsprechende Schutzeinrichtungen zur Trennung des Gegenverkehrs z. B. Stahlschutzwände vor, vergrößern sich die notwendigen Breiten entsprechend um deren planungsrelevante Breite, bei Stahlschutzwänden sind dies ca. 0,30 m bis 0,50 m.

Die zur Verfügung stehende Fahrstreifenbreite resultiert zwangsläufig aus dem vor Ort vorliegenden Straßenquerschnitt. Dieser muss nicht über die Länge der Arbeits-

stelle konstant sein. Beispielsweise kann aufgrund von Brückenbauwerken die zur

| | Summe der Fahrbahnbreiten [km] | | |
|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| | 16 m bis unter 20m | 20 m bis unter 22 m | 22 m bis unter 30 m |
| Länge (ohne Hessen) | 918 | 1096 | 6976 |
| Anteil | 9% | 10% | 65% |

Tabelle 1-1: Fahrbahnbreiten im Netz der Bundesautobahnen, Stand 31.12.2002. [Der Elsner 2007]

Verfügung stehende Fahrbahnbreite eingeschränkt sein. Darüber hinaus entsprechen die vorhandenen Querschnittsabmessungen zu einem großen Teil nicht den Vorgaben der aktuellen Regelwerke. Somit sind teilweise geringere Fahrbahnbreiten

festzustellen als bei einem regelgerechten Neubau bzw. Ausbau heutzutage realisiert würden. So weisen 19 % der Autobahnen in der Summe eine Fahrbahnbreite von 16 bis unter 22 m auf (siehe Tabelle 1-1), d. h. sie sind in ihren Abmessungen kleiner als der Regelquerschnitt RQ 29,5 (Summe der Fahrbahnbreiten 23m), der in den aktuellen RAS-Q 96 [FGSV 1996] als 4-streifiger Standardautobahnquerschnitt vorgesehen ist. Die Fahrbahnbreite im Bereich der Arbeitsstelle stellt somit neben den baulichen Randbedingungen einen weiteren maßgeblichen Zwangspunkt für die Wahl der Verkehrsführung und die Fahrstreifenbreiten dar. In Tabelle 1-2 wird dargestellt, für welche Fahrbahnbreiten (ausgehend von historischen, aktuellen und vorgesehenen Regelquerschnitten) sich bestimmte Verkehrsführungen realisieren lassen. Dabei werden auch die Faktoren Arbeitsstellenlänge und Form der Gegenverkehrstrennung berücksichtigt.

Es zeigt sich, dass bei einigen Querschnitten die Verkehrsführung 3s+1 gar nicht oder nur mittels Fahrtrichtungstrennung durch Doppellinienmarkierung möglich ist. Für eine Verkehrsführung 4s+0 muss sogar festgestellt werden, dass die vorhandenen 4-streifigen Querschnitte in der Regel nicht in der Lage sind, eine solche Ver-

| Verkehrsführung | 3s+1 | | | 4s+0 | | |
|----------------------|-------|-----------|--------|--------|-----------|--------|
| Länge [km] | bis 6 | > 6 bis 9 | über 9 | bis 6 | > 6 bis 9 | über 9 |
| erforderliche Breite | 9,0 m | 9,5 m | 9,75 m | 11,5 m | 12,5 m | 13,0 m |
| 8,9 m (RAB-Q 24) | / | / | / | / | / | / |
| 10,0 m (RQ 26) | TSE | TSE | Mar | / | / | / |
| 10,25m (RAB-Q 28,5) | TSE | TSE | TSE | / | / | / |
| 11,0 m (RQ 29) | TSE | TSE | TSE | / | / | / |
| 11,5 m (RQ 29,5) | TSE | TSE | TSE | Mar | / | / |
| 12,0 m (RQ 31) | TSE | TSE | TSE | TSE | / | / |

Tabelle 1-2: Einsatzmöglichkeiten von Verkehrsführungen und Trennungssystemen (TSE = transportable Schutzeinrichtung; Mar = Markierung aus Nagelreihen bzw. Folien) in Abhängigkeit von der vorhandenen Breite der befestigten Fläche der Richtungsfahrbahn

kehrsführung aufzunehmen. Lediglich im Bereich eines RQ 29,5 mit 11,5 m Breite der befestigten Fläche kann eine Verkehrsführung 4s+0 bis zu einer Arbeitsstellenlänge von 6 km und nur mit einer Trennung durch eine Nagelreihe, bei Verzicht auf eine transportable Schutzeinrichtung als Fahrtrichtungstrennung, realisiert werden. Der in den neuen Entwurfsrichtlinien RAA [FGSV 2005] vorgesehene Regelquerschnitt RQ 31 mit einer Breite der befestigten Fläche von 12,0 m ermöglicht zumindest bis zu einer Länge von 6 km den Einsatz von transportablen Schutzeinrichtun-

gen. Bei Arbeitsstellenlängen von über 6 km ist unter Berücksichtigung der Mindestfahrstreifenbreiten der RSA 95 [BMVBW 1995] kein vierstreifiger Autobahnquerschnitt in der Lage, eine Verkehrsführung der Form 4s+0 aufzunehmen.

Um trotz zu geringer Breiten die gewünschte Verkehrsführung (meist 4s+0) und transportable Schutzeinrichtungen einsetzen zu können, müssen in der Praxis häufig Kompromisse gefunden werden. So wurde teilweise auf transportable Schutzeinrichtungen verzichtet, die Mindestfahrstreifenbreiten unterschritten oder die befestigte Fläche vor Beginn der eigentlichen Baumaßnahme verbreitert.

Bislang gibt es keine aktuelle wissenschaftliche Untersuchung, welche die in der Praxis eingesetzten Varianten aus Behelfsverkehrsführung, Trennungssystem und Fahrstreifenbreite unter Berücksichtigung der Eingangsgrößen befestigte Breite, Baukosten und Verkehrsstärke umfassend miteinander vergleicht. Darüber hinaus sind offenkundig Kenntnislücken hinsichtlich der Wirkungen der eingesetzten Varianten auf Investitionskosten, laufende Kosten, Unfallgeschehen, Fahrerverhalten und die Bausubstanz vorhanden.

1.2 Zielstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die in der Praxis eingesetzten Varianten aus Behelfsverkehrsführung, System zur Fahrtrichtungstrennung und Behelfsfahrstreifenbreiten vergleichend zu bewerten. Hierbei soll auch die Möglichkeit der Verbreiterung der befestigten Fläche im Vorlauf der eigentlichen Baumaßnahme berücksichtigt werden. Randbedingungen wie die Verkehrsstärke oder die anfallenden Baukosten sollen als variable Größen beim Vergleich berücksichtigt werden.

Die Untersuchung beschränkt sich auf Arbeitsstellen im Zuge von Erneuerungs- und Instandhaltungsmaßnahmen an zweibahnig-vierstreifigen Autobahnen mit einer Breite der befestigten Fläche je Fahrtrichtung von 10,0 m bis 12,0 m. Bei Autobahnen mit diesen Abmessungen treten die dargestellten Konflikte zwischen Verkehrsführung-Fahrtrichtungstrennung und Querschnittsabmessungen besonders deutlich zu Tage. Gleichwohl ist die Problematik zum Teil auch für den Bereich sechs- oder achtstreifige Autobahnen vorhanden. Auch auf diesen breiteren Querschnitten ist es z. B. nicht möglich eine „+0“-Verkehrsführung ohne Reduzierung der Anzahl der Fahrstreifen einzurichten.

Durch die vorliegende Arbeit soll aufgezeigt werden, wie in der Praxis anhand eines Bewertungsverfahrens prinzipiell eine für den konkreten Anwendungsfall und eine gegebene Zielstellung optimale Variante aus Verkehrsführung, Trennungssystem und Fahrstreifenbreite ausgewählt werden kann. Im Hinblick auf die Notwendigkeit eines möglichst effizienten Einsatzes von Ressourcen, seien es Steuergelder, Gesundheit, Zeit oder Umwelt, soll die Optimierung im Sinne eines möglichst geringen Ressourcenverbrauches erfolgen. Darüber hinaus soll ferner gezeigt werden, unter welchen Randbedingungen (Querschnittsabmessungen, Verkehrsstärke, Baukosten) welche Varianten im Sinne einer Vorauswahl empfohlen werden können.

Um eine solche vergleichende Bewertung der Varianten durchführen zu können, ist es notwendig, zunächst festzulegen, anhand welcher Ziele die Bewertung erfolgen

soll und anhand welcher Indikatoren die Verwirklichung der Ziele „gemessen“ werden kann. Danach muss untersucht werden, welche Zusammenhänge zwischen Verkehrsführung, Trennungssystem, Fahrstreifenbreiten und Querschnittsabmessungen im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer an zweibahnig-vierstreifigen Autobahnen bestehen, welche verkehrlichen und bautechnologischen Konflikte auftreten und welche Lösungen in der Praxis hierfür gefunden werden. Schließlich sind die Wirkungen der betrachteten Varianten auf die vorgenannten Ziele bzw. die Indikatoren qualitativ und möglichst auch quantitativ zu beschreiben.

1.3 Abgrenzung der Aufgabenstellung

Um eine praktikable Bearbeitung der Problemstellung zu ermöglichen, musste die Aufgabenstellung entsprechend eingegrenzt werden. Folgende Abgrenzungen der Aufgabenstellung gelten daher, sofern nicht explizit anderes benannt wird:

- Die Bearbeitung beschränkt sich auf zweibahnige Autobahnen mit insgesamt 4 Fahrstreifen (je Fahrtrichtung 2 Fahrstreifen).
- Die während des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren auftretenden Baumaßnahmen zur Erneuerung und Instandhaltung der Fahrbahn werden im Zuge Arbeitsstellen längerer Dauer durchgeführt. Hierzu werden Behelfsverkehrsführungen im Sinne der RSA 95 [BMVBW 1995] mit allen erforderlichen Ausstattungselementen eingerichtet.
- Die Betrachtung beschränkt sich auf bestehende Autobahnen, bei denen Baumaßnahmen zur Erneuerung und Instandhaltung der Fahrbahn erforderlich sind. Baumaßnahmen zum Ausbau der Autobahn z. B. Erweiterung von 4 auf 6 Fahrstreifen oder Baumaßnahmen mit Umtrassierung der Autobahn werden im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht.

Darüber hinaus wurden einige in der Realität vorhandene Einflussgrößen bei der Bearbeitung zunächst vernachlässigt. Es kann sinnvoll sein, in nachfolgenden Forschungsprojekten zu ermitteln, wie sich diese Einflussgrößen auf das Ergebnis dieser Arbeit und die darin getroffenen Annahmen auswirken. Folgende Vereinfachungen wurden angesetzt:

- Der Einfluss der Trassierungsparameter wurde vernachlässigt. Es wird für diese Arbeit davon ausgegangen, dass für die Vergleichsfälle großzügige Trassierungselemente im Lage- und Höhenplan vorhanden sind und die Mindestvorgaben der gültigen Regelwerke (zur Zeit der Abfassung der Arbeit, die RAS-L 1995) eingehalten werden, so dass aus den Trassierungselementen keine Wirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit im Zuge der Behelfsverkehrsführungen resultieren.
- Es wurde davon ausgegangen, dass die Zulauf- und Überleitungsbereiche der Behelfsverkehrsführungen gemäß RSA-95 [BMVBW 1995] ausgebildet sind, sich diese in gleicher Weise auf die Varianten auswirken und sich somit hieraus beim Variantenvergleich keine unterschiedlichen Wirkungen auf die einzelnen Varianten ergeben.

- Der Einfluss von Anschlussstellen, Zu- und Ausfahrten im Zuge der Behelfsverkehrsführungen wurde vernachlässigt.
- Es wurde davon ausgegangen, dass die Bauart der Fahrbahndecke (Asphalt oder Zementbeton) keinen Einfluss auf Fahrerverhalten und Verkehrssicherheit in der Behelfsverkehrsführung hat. Auch wurden Wirkungen vernachlässigt, die sich möglicherweise aus einer qualitativ außergewöhnlich schlechten Fahrbahnoberfläche (Schlaglöcher, Spurrinnen) ergeben können.

1.4 Vorgehensweise

Um die beschriebenen Ziele zu erreichen, wurde eine mehrstufige Vorgehensweise vorgesehen. Methodischer Ansatz ist dabei der Vergleich von Wirkungen unterschiedlicher Varianten. Zur qualitativen und quantitativen Erfassung der Wirkungen dient sowohl eine Analyse der bestehenden Erkenntnisse als auch eine Auswertung empirischer Daten.

Die Vorgehensweise umfasst im Wesentlichen die Punkte

- Darstellung der bestehenden Randbedingungen für den Bereich von Autobahnarbeitsstellen, wie sie z. B. durch die geltenden technischen Regelwerke definiert werden.
- Beschreibung der bestehenden Struktur der Arbeitsstellen, insbesondere der Fragestellungen: Welche Zusammenhänge bestehen zwischen Querschnittsabmessungen, Behelfsverkehrsführung, Fahrstreifenbreite und System zur Fahrtrichtungstrennung, welche Verkehrsführungen werden eingesetzt und welche Probleme ergeben sich im Hinblick auf die vorhandene Breite der Richtungsfahrbahnen?
- Festlegung der zu untersuchenden Varianten.
- Festlegung der Grundlagen des Bewertungsverfahrens einschließlich der Festlegung eines Zielsystems und der zugehörigen Indikatoren.
- Beschreibung der bestehenden Erkenntnisse bezüglich der Wirkungen der Varianten auf die Indikatoren anhand einer Literaturanalyse.
- Ergänzung der bestehenden Erkenntnislücken durch eigene Untersuchungen bzw. gegebenenfalls Abschätzungen.
- Anpassung eines vorhandenen Verfahrens zur zusammenfassenden Bewertung der einzelnen Indikatoren und der vergleichenden Bewertung der einzelnen Varianten an die konkrete Aufgabenstellung.
- Durchführung der vergleichenden Bewertung und Ableitung von Empfehlungen.

2. Ausgangslage

2.1 Randbedingungen

2.1.1 Behelfsverkehrsführungen im Zuge von Arbeitsstellen längerer Dauer

Werden im Bereich von Straßen aufgrund von Arbeitsstellen Behelfsverkehrsführungen eingerichtet, sind als maßgebliches Regelwerk die Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen - RSA 1995 [BMVBW 1995] zu beachten. Dieses Regelwerk definiert unter anderem verschiedene Verkehrsführungen sowie die Breite der Behelfsfahrbahnen.

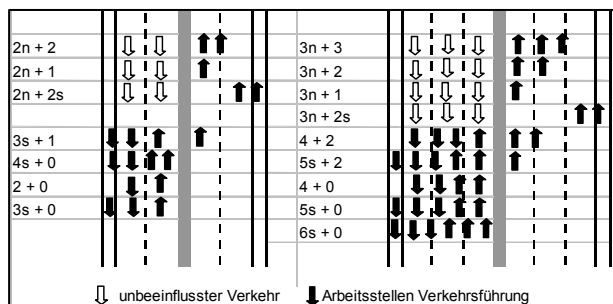


Bild 2-1: Darstellung aller Verkehrsführungen in Autobahnarbeitsstellen, nach SCHÖNBORN/SCHULTE (1999)

Nach den RSA-95 [BMVBW 1995] werden die in Bild 2-1 dargestellten Verkehrsführungen in Autobahnarbeitsstellen längerer Dauer unterschieden. Hierbei stehen die Ziffernkennungen jeweils für die Anzahl der Fahrstreifen bzw. Behelfsfahrbahnen auf der linken bzw. rechten Richtungsfahrbahn, die Buchstabenkennung „n“ steht für nicht durch die Baustellenverkehrsführung in Anspruch genommene Fahrbahnen sowie „s“ für die Mitbenutzung des Standstreifens für die Arbeitsstellen-Verkehrsführung.

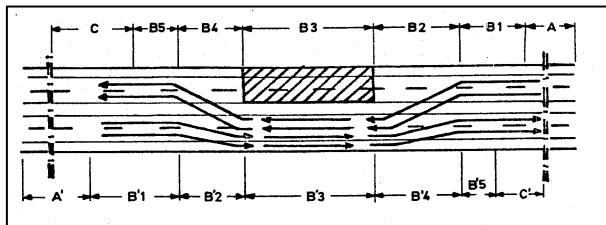


Bild 2-2: Baustellenbereiche einer 4s+0 Verkehrsführung, aus EMDE/HAMESTER (1983)

Der gesamte Arbeitsstellenbereich mit Überleitung auf die Gegenfahrbahn kann nach EMDE/HAMESTER (1983) in sieben Bereiche eingeteilt werden (Bild 2-2). Während es sich bei den Bereichen A und C um die von der Baustelle unbeeinflussten Bereiche handelt, wird der beeinflusste Bereich wiederum in fünf

Abschnitte (B1 bis B5) unterteilt. Dabei handelt es sich um den beschilderten Bereich vor der Baustelle (B1, B'1), auch Zulaufbereich genannt, in dem insbesondere der Geschwindigkeitstrichter angeordnet ist, den Bereich der ersten Überleitung B2 bzw. B'2, den Baustelleninnenbereich B3 bzw. B'3, den Bereich der zweiten Überleitung am Ende der Baustelle (B4, B'4) sowie den Entflechtungsbereich hinter der Baustelle (B5, B'5).

Werden Bauarbeiten erforderlich, bei denen eine Richtungsfahrbahn ganz oder zumindest teilweise für den Verkehr gesperrt werden muss, werden im Regelfall die Fahrstreifen der direkt betroffenen Fahrtrichtung ganz oder teilweise auf die Fahrbahn des Gegenverkehrs verlagert. Zwangsläufig sind hierbei Reduzierungen in den Abmessungen, evtl. auch in der Anzahl der Fahrstreifen erforderlich.

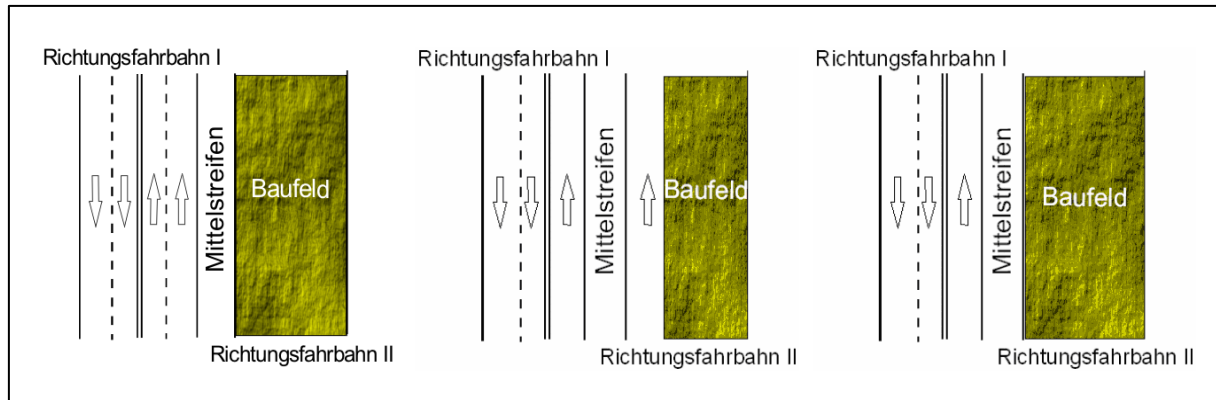


Bild 2-3: Prinzipiskenen Verkehrsführungen 4s+0 (links), 3s+1 (Mitte) und 3s+0 (rechts)

Für den Bereich zweibahnig-vierstreifiger Straßen können bei Vollsperrung einer Richtungsfahrbahn die Verkehrsführungen 4s+0 und 3s+0 bzw. 2+0 eingesetzt werden. Sollte bei einer teilweisen Sperrung einer Richtungsfahrbahn eine Überleitung zumindest eines Fahrstreifens auf die Fahrbahn des Gegenverkehrs erforderlich



Bild 2-4: 2+0 Verkehrsführung mit Fahrtrichtungstrennung durch Markierung mit großen Sichtzeichen

werden, wird im Regelfall die Verkehrsführung 3s+1 eingesetzt (vgl. Bild 2-3). Als Trennung der beiden Fahrtrichtungen ist nach RSA-95 [BMVBW 1995] standardmäßig eine Doppellinienmarkierung aus Markierungsknopfen vorgesehen. (vgl. Bild 2-4).

In den RSA 1995 [BMVBW 1995] werden für Behelfsfahrstreifen Mindestbreiten genannt. Diese Mindestbreiten richten sich nach der Länge der Arbeitsstelle, der Breite des auf dem Fahrstreifen

| Fahrzeugbreite | Länge der Arbeitsstelle [km] | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| | bis zu 6 | mehr als 6 bis zu 9 | mehr als 9 |
| Beschränkung auf bis zu 2 m (Z 264) | 2,50 m (3,25 m) ¹⁾ | 3,00 m (3,25 m) ¹⁾ | 3,25 m |
| unbeschränkt | 3,25 m (3,00 m) ²⁾³⁾ | | |

1) Bei einer Verkehrsführung mit nur 1 Behelfsfahrstreifen für eine Fahrtrichtung auf der Gegenfahrbahn; ggf. muß vorher ausgebaut oder verbreitert werden (vgl. Verkehrsführungen 3 + 1, 3 + 0 und 4 + 2 in Tabelle 3).

2) Durch einen entsprechenden vorherigen Fahrbahnanbau bzw. eine Verbreiterung ist eine Behelfsfahrstreifenbreite von 3,25 m, d. h. z. B. bei einer Verkehrsführung 4 + 0 eine Mindestfahrbahnbreite von 11,50 m, anzustreben.

3) Im Bereich z. B. von Fertigern darf die Fahrstreifenbreite zur Erhöhung der Sicherheit der in der Arbeitsstelle Tätigen vorübergehend und auf eine geringe Streckenlänge auf dieses Maß eingeeengt werden.

Tabelle 2-1: Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA 1995 [BMVBW 1995]

zulässigen Fahrzeugs und der Lage des Fahrstreifens (vgl. Tabelle 2-1).

Bei einer Verkehrsführung mit jeweils 2 Fahrstreifen je Fahrtrichtung, die jeweils nicht baulich getrennt sind, ergeben sich bei einer Arbeitsstellenlänge von bis zu 6 km folgende Fahrstreifenbreiten:

- Rechter Fahrstreifen, unbeschränkt bzw. gem. StVZO: 3,25 m (3,00 m)
- Linker Fahrstreifen, Fz-breite auf bis zu 2,00 m beschränkt: 2,50 m

Zu dem Wert von 3,00 m wird in den RSA 1995 angemerkt:

- „Durch einen entsprechenden vorherigen Fahrbahnausbau bzw. eine Verbreiterung ist eine Behelfsfahrstreifenbreite von 3,25 m, d. h. z. B. bei einer Verkehrsführung 4+0 eine Mindestfahrbahnbreite von 11,50 m anzustreben.
- Im Bereich z. B. von Fertigern darf die Fahrstreifenbreite zur Erhöhung der Sicherheit der in der Arbeitsstelle Tätigen vorübergehend und auf einer geringen Streckenlänge auf dieses Maß eingeeengt werden.“ [BMVBW 1995]

SCHÖNBORN/SCHULTE 1999 merken zu der Verminderung der Fahrstreifenbreite auf 3,0 m an: „Die Anmerkung (...) berücksichtigt die im Bereich von Arbeitsstellen mit Deckenbauarbeiten durch die Einbauzüge auftretenden Schwierigkeiten, die vorgebenden Breitenmaße kurzzeitig nicht einhalten zu können. Es ist anzuraten, diese Anmerkung, sofern sie vorhersehbar zutreffend werden könnte, ausdrücklich in die verkehrsrechtliche Anordnung aufzunehmen bzw. aufnehmen zu lassen. Andernfalls ist nicht sichergestellt, dass im Fall eines Schadensereignisses ein Gericht diese Anmerkung generell als wirksam anerkennt.“

Die vorhandene Fahrbahnbreite wird gemäß RSA 1995 [BMVBW 1995] zwischen den beiden äußeren Kanten der Fahrstreifenbegrenzungen gemessen (vgl. Bild 2-5). Stimmt die Fahrstreifenbegrenzung mit dem Rand der befestigten Fläche überein, entspricht die Fahrbahnbreite nach RSA-95 [BMVBW 1995] der Breite der befestigten Fläche.

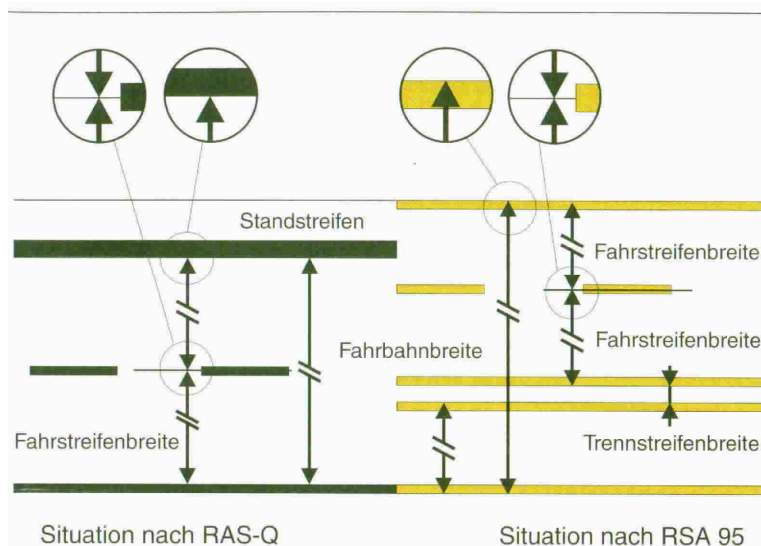


Bild 2-5: Breitendefinitionen [SCHÖNBORN/SCHULTE 1999]

Die Breite von Fahrstreifen wird so gemessen, dass

- Leitlinien jeweils zur Hälfte den anliegenden Fahrstreifen zugeordnet werden

- Fahrstreifenbegrenzungslinien mit voller Breite dem anliegenden Fahrstreifen zugeordnet werden.

Den zwischen zwei Fahrstreifenbegrenzungslinien liegende Bereich bezeichnen die RSA 1995 [BMVBW 1995] als Trennstreifen. Dieser weist bei Doppellinienmarkierung

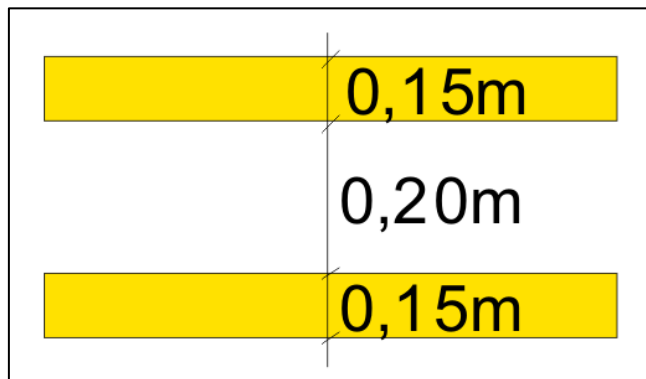


Bild 2-6: Trennstreifenbreite bei Einsatz einer Doppelmarkierung [SCHÖNBORN / SCHULTE 1999]

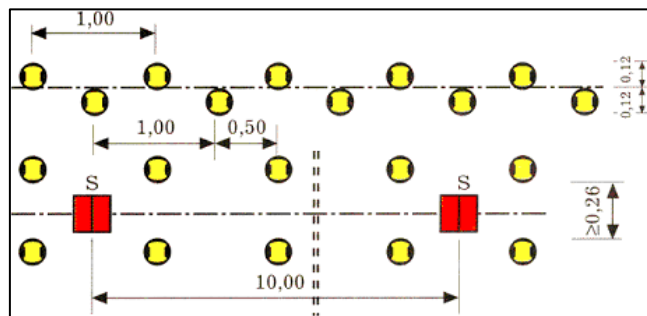


Bild 2-7: Trennstreifenbreite bei Einsatz von Markierungsnägeln nach RSA 1995 [BMVBW 1995]

mittels zweier durchgehender 0,15 m breiter Linien in der Regel eine Breite von 0,20 m auf (vgl. Bild 2-6).

Bei einer Markierung durch Markierungsknöpfe mit 0,12 m Durchmesser und Sichtzeichen beträgt die Trennstreifenbreite mindestens 0,26 m (siehe Bild 2-7 unten). Diese Trennstreifenbreiten ermöglichen den Einsatz von Sichtzeichen, die im Trennstreifen auf die Fahrbahn aufgebracht werden können. Durch eine Markierung mittels Doppelnagelreihe ohne Sichtzeichen kann die Trennstreifenbreite auch auf 0,00 m verringert werden (siehe Bild 2-7 oben).

Durch einen entsprechend breiten Trennstreifen ist es möglich, alternativ zur Folien- oder Nagelmarkierung, eine transportable Schutteinrichtung oder Leitschwelle zur Fahrtrichtungstrennung anzuordnen.

Für die Verkehrsführungen lassen sich aus der Kombination der jeweiligen Mindestfahrstreifenbreiten die mindestens erforderlichen Breiten der befestigten Fahrbahn ermitteln.

Ist die vorhandene befestigte Fahrbahnbreite größer als die aus den Mindestfahrstreifenbreiten resultierende Mindestfahrbahnbreite, ist die vorhandene Mehrbreite gemäß RSA 1995, Teil D 2.3.2 [BMVBW 1995] entsprechend der folgenden Rangfolge zu verteilen:

1. Verbesserung der Trennung von Richtung und Gegenrichtung durch einen 0,50 m breiten Trennstreifen,
2. Wahl eines 2,75 m (statt 2,50 m) breiten Behelfsfahrstreifens für Fahrzeuge bis 2,00 m Breite
3. Anordnung von ein oder zwei Behelfsstandstreifen (Mindestbreite eines Behelfsstandstreifens 1,75 m)
4. Wahl eines 3,50 m (statt 3,25 m) breiten, rechten Behelfsfahrstreifens für alle Fahrzeuge unter Beibehaltung des Behelfsfahrstreifens für Fahrzeuge bis 2,00 m Breite.
5. Wahl eines 3,00 m (statt 2,50 m) breiten Behelfsfahrstreifens für Fahrzeuge bis 2,00 m Breite.

2.1.2 Systeme zur Fahrtrichtungstrennung bei Behelfsverkehrsführungen



Bild 2-8: 4s+0 Verkehrsführung mit Fahrtrichtungstrennung durch Leitschwelle (Foto: Klemmfix, Backnang)



Bild 2-9: 4s+0 Verkehrsführung mit Fahrtrichtungstrennung durch eine transportable Schutteinrichtung aus Stahl (Stahlschutzwand) mit retroreflektierenden Elementen

Im Abschnitt 5 der RSA-95 [BMVBW 1995] wird darauf hingewiesen, dass zur Erhöhung der Leitwirkung oder zur Minderung von Unfallgefahren anstelle von Markierungen auch durchgehende bauliche Leitelemente, wie Leitschwellen und Leitwände, eingesetzt werden können.

Bei Leitschwellen handelt es sich um mindestens 250 mm breite und 25 mm bis 120 mm hohe Einzelemente (Länge ca. 1,0 m) die miteinander verbunden und durch Sichtzeichen ergänzt werden, so dass ein durchgehendes Längselement entsteht. Dieses Element übernimmt die Aufgaben der gelben Markierungen bzw. Markierungsknopfreihen (siehe Bild 2-8).

Transportable Schutteinrichtungen können, wenn sie entsprechend wie Leitwände mit retroreflektierenden Elementen ausgestattet sind, die Funktion von Leitwänden übernehmen (siehe Bild 2-9).

Transportable Schutteinrichtungen bestehen aus miteinander verbunde-

nen Einzelementen aus Stahl (Stahlschutzwand) oder Beton (Betonschutzwand), deren Eigenschaften in den TL transportable Schutteinrichtungen [BMVBW 1997 b] festgelegt sind. Sie sollen die Unfallfolgen durch Abkommen von der Fahrbahn (bzw. Verlassen des Fahrstreifens) mindern. Im Gegensatz zu Leitwänden (gem. TL Leitelemente, [BMVBW 1997 c]) müssen sie auch umfangreiche Anprallanforderungen erfüllen und haben somit auch eine entsprechende Aufhaltefunktion.

SCHÖNBORN/SCHULTE (1999) sowie ELLMERS (1998) weisen darauf hin, dass die Leitfunktion bei entsprechender Ausstattung mit retroreflektierenden Elementen auch von transportablen Schutteinrichtungen übernommen werden kann, die damit „Schutz- und Leitwirkung in idealer Weise miteinander“ verbinden [SCHÖNBORN/SCHULTE (1999)].

Angaben zu Funktion und Wirkungsweise von baulichen Leitelementen (Leitschwelle, Leitborde, Leitwände) sowie transportablen Schutteinrichtungen aus Beton oder Stahl werden in den RSA-95 nicht gegeben.

In den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen - ZTV-SA 1997“ [BMVBW 1997 a], wird neben der Regelung der technischen Anforderungen an Sicherungs- und Leitelemente im Wesentlichen die Ausführung der Sicherungsmaßnahmen festgelegt. Nach den ZTV-SA können bauliche Leitelemente „zur Erhöhung der Leitwirkung und Dämpfung der Geschwindigkeit“ eingesetzt werden, siehe ZTV-SA 1997 Abschnitt 6.9 [BMVBW 1997a].

Im Allgemeinen Rundschreiben Straßenverkehr ARS 18/1999 [BMVBW 1999] wird gefordert: „Zur Verminderung der Unfallfolgen infolge des Abkommens von Fahrzeugen von der Fahrbahn, sollten in längerfristigen Arbeitsstellen grundsätzlich transportable Schutzeinrichtungen vorgesehen werden, wo dies aufgrund der zur Verfügung stehenden Breite des gesamten Fahrbahnquerschnitts möglich ist.“

In den Ländererlassen zur Einführung der RSA 95 sind teilweise darüber hinaus gehende Festlegungen getroffen, wie bauliche Leitelemente einzusetzen sind.

Weitere Rahmenbedingungen, insbesondere bezüglich den Prüfanforderungen, werden für bauliche Leitelemente in den „Technischen Lieferbedingungen für bauliche Leitelemente“ [BMVBW 1997 c] und für transportable Schutzeinrichtungen in den „Technischen Lieferbedingungen für transportable Schutzeinrichtungen“ [BMVBW 1997 b], den „Technischen Lieferbedingungen für Betonschutzwand-Fertigteile“ [BMVBW 1996] sowie der „DIN-EN 1317: Rückhaltesysteme an Straßen“ geregelt.

Für die Aufstellung transportabler Schutzeinrichtungen werden in den ZTV-SA 97, ergänzt durch das allgemeine Rundschreiben Straßenbau 18/1999 [BMVBS 1999], fünf Einsatzbereiche definiert, denen entsprechende Anforderungen zugeordnet werden (siehe Bild 2-10). Zwischen entgegengesetzten Verkehrsströmen sind die Einsatzbereiche D bzw. E (im Bereich der Überleitungen) für die Wahl der Schutzeinrichtung maßgebend. Den jeweiligen Einsatzbereichen können Aufhaltestufen nach DIN-EN 1317 und Wirkungsbereiche als Mindestanforderungen an die eingesetzten transportablen Schutzeinrichtungen zugeordnet werden (siehe Tabelle 2-2).

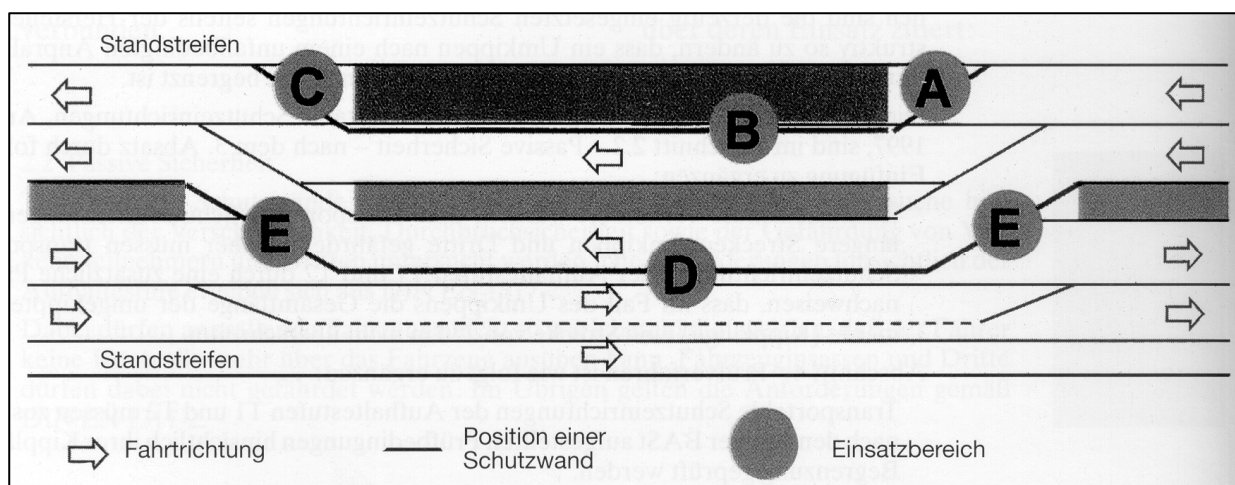


Bild 2-10: Einsatzbereiche transportabler Schutzeinrichtungen, aus ARS 18/1999 [BMVBW 1999]

| Verkehrsführung | Regelplan gem. RSA 95 | Bereich | Aufhaltestufe | Wirkungsbereich |
|-----------------|-----------------------|---------|----------------|-----------------|
| 3s+0 | D II 4a/b | D | $\geq T3$ | $\leq W4$ |
| | | E | $\geq H1 (T3)$ | $\leq W4$ |
| 3s+1 | D II 1 a/b | D | $\geq T1$ | $\leq W3$ |
| | | E | $\geq T2$ | $\leq W4$ |
| 4s+0 | D II 2 a/b | D | $\geq T1$ | $\leq W3$ |
| | | E | $\geq T2$ | $\leq W4$ |

Tabelle 2-2: Anforderungen an transportable Schutzeinrichtungen für Verkehrsführungen 3s+0, 3s+1 und 4s+0, nach ZTV-SA 1997 [BMVBW 1997a]

Bezogen auf die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Verkehrsführungen ergeben sich aus den Regelungen der ZTV-SA 1997 [BMVBW 1997 a] die in Tabelle 2-2 aufgeführten Anforderungen an die eingesetzten Schutzsysteme.

Um solche transportablen Schutzeinrichtungen im Querschnitt unterbringen zu können, ist systembedingt eine bestimmte spezifische Breite erforderlich. Bei der Angabe der Breite der Schutzeinrichtungen ist zu unterscheiden, ob es sich um die Baubreite oder die planungsrelevante Breite handelt. Die planungsrelevante Breite, teilweise auch als Planungsbreite bezeichnet, wird dabei als „der Abstand der auf die Horizontale projizierten inneren Kanten der im Fußbereich der transportablen Schutzwand angebrachten retroreflektierenden Elemente“ [BMVBW 1997 b] definiert. Dies gilt jedoch nur, wenn

- retroreflektierende Elemente vorhanden sind und
- der Fußbereich nicht mehr als 5° zur Horizontalen geneigt ist.

Im Regelfall entspricht dabei die erforderliche Trennstreifenbreite der planungsrelevanten Breite der transportablen Schutzeinrichtung (siehe Bild 2-11). Ist der Fußbereich der transportablen Schutzeinrichtung befahrbar und/oder lässt sich auf der transportablen Schutzeinrichtung eine 0,15 m breite Fahrstreifenbegrenzungslinie oder entsprechende retroreflektierende Elemente aufbringen, verringert sich die erforderliche Trennstreifenbreite auf den Abstand zwischen den beiden Außenkanten der Fahrstreifenbegrenzungslinien (planungsrelevante Breite).

Handelsübliche transportable Schutzeinrichtungen weisen je nach Bauart eine planungsrelevante Breite von etwa 0,20 m bis 0,50 m auf. Der in den RSA 1995 [BMVBW 1995] beschriebene Trennstreifen von 0,50 m Breite zur Verbesserung der Trennung der Fahrtrichtungen kann somit der Aufnahme der transportablen Schutzeinrichtungen dienen. Die Breite von 0,50 m ist für die Aufstellung der Mehrzahl der

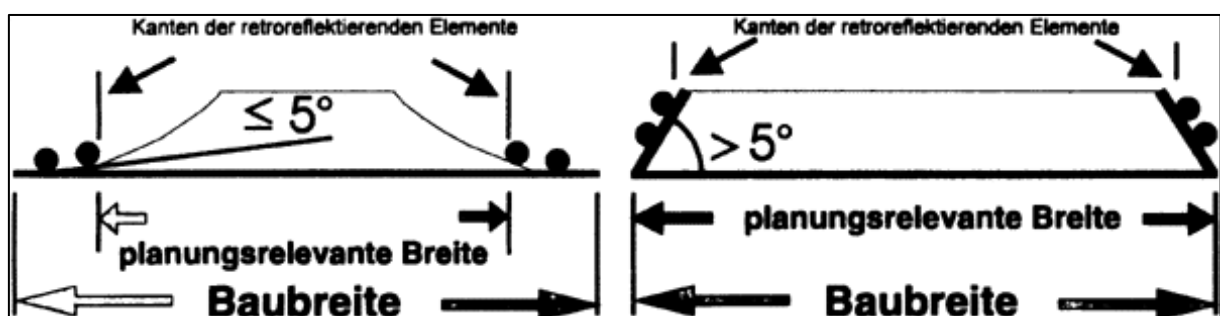


Bild 2-11: Schemazeichnungen zur Definition der planungsrelevanten Breite [BMVBW 1997 b]

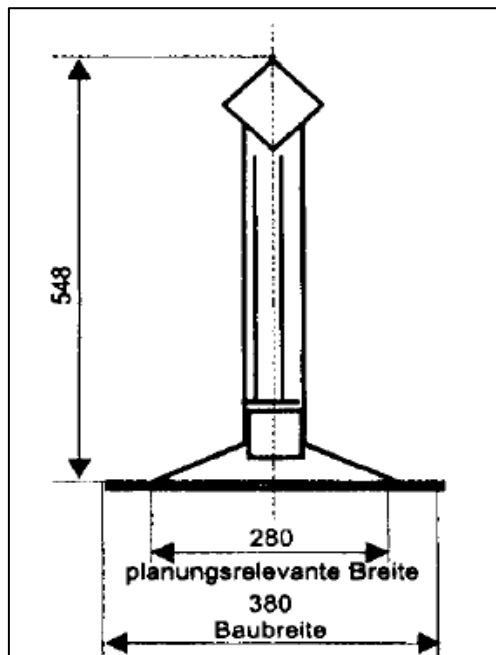


Bild 2-12: Beispiel Systemquerschnitt STGW 4200 [Firma Berghaus, www.stahlschutzwaeende.de, Stand: 07/2006]

Systeme als ausreichend zu betrachten.

Neben dem Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen ist die Trennung der Fahrtrichtungen wie gezeigt auch durch Verwendung einer doppelten, durchgehenden Fahrstreifenbegrenzungslinie möglich. Bei Anordnung einer solchen Markierung zwischen den Fahrtrichtungen wird die Markierung in voller Strichbreite dem Fahrstreifen zugeschlagen. Durch Ausführung der Markierung durch Markierungsknöpfe ist es bei Verzicht auf zusätzliche Sichtzeichen möglich, die planungsrelevante Breite dieses Trennungssystems auf 0,00 m zu begrenzen.

Dieses Maß ist somit die erforderliche Mindestbreite des Trennstreifens als Fahrstreifentrennung.

Somit ergeben sich die für die folgenden Trennungssysteme mindestens erforderlichen Min-

desttrennstreifenbreiten:

- | | |
|---------------------------------------|------------|
| • Markierungsnägel | 0,00 m |
| • Markierungsnägel und Sichtzeichen | 0,26 m |
| • Doppellinie mit Sichtzeichen | 0,20 m |
| • Transportable Schutzeinrichtung, T1 | ca. 0,20 m |
| • Transportable Schutzeinrichtung, T2 | ca. 0,20 m |
| • Transportable Schutzeinrichtung, T3 | ca. 0,38 m |

Diese Angaben stellen Mindestmaße von zurzeit auf dem Markt erhältlichen transportablen Schutzeinrichtungen dar. Ein großer Teil der Systeme weist größere planungsrelevante Breiten auf. Aus diesem Grunde wird nachfolgend von einer planungsrelevanten Breite von 0,50 m für Transportable Schutzeinrichtungen ausgegangen.

Für eine Verkehrsführung 4s+0 ergeben sich somit bei Einhaltung der in den RSA 1995 [BMVBW 1995] genannten Mindestfahrstreifenbreiten von 2,50 m für den jeweils linken Fahrstreifen und 3,25 m für den jeweils rechten Fahrstreifen folgende Mindestfahrbahnbreiten.

- | | |
|---|---------|
| • Markierungsnägel (0,00 m Trennstreifenbreite) | 11,50 m |
| • Markierungsnägel und Sichtzeichen | 11,76 m |
| • Doppellinie mit Sichtzeichen | 11,70 m |
| • Transportable Schutzeinrichtung, T1/T2/T3 | 12,00 m |

2.1.3 Einsatzmöglichkeiten von Behelfsverkehrsführungen und Trennungssystemen bei bestimmten Fahrbahnbreiten

Entsprechend den in Kapitel 2.1.1 und 2.1.2 beschriebenen Zusammenhängen ergeben sich für die Verkehrsführungen 3s+0, 3s+1 und 4s+0 in Kombination mit bestimmten Trennungssystemen folgende Mindestbreiten. Bei den weiteren Betrachtungen

tungen wird sich auf eine Länge der Arbeitsstelle von maximal 6 km und somit auf das Mindestmaß der Fahrstreifenbreite gemäß RSA 1995 beschränkt.

| | Markierung, ohne Sichtzeichen | transportable Schutzeinrichtung |
|------|--------------------------------------|--|
| 3s+0 | 9,00 m | 9,50 m |
| 3s+1 | 9,00 m | 9,50 m |
| 4s+0 | 11,50 m | 12,00 m |

Tabelle 2-3: Mindestbreite der befestigten Fläche (Mindestfahrbahnbreiten im Sinne der RSA 95) für den Einsatz von Behelfsverkehrsführungen

Für Breiten der befestigten Fläche von Autobahnquerschnitten von 10,0 m (RQ 26) bis 12,0 m (RQ 31) je Richtungsfahrbahn ergeben sich somit die in Tabelle 2-4

dargestellten Einsatzmöglichkeiten für Behelfsverkehrsführungen. Hierbei

wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Sind bei einer Verkehrsführung sowohl Trennung durch Doppellinienmarkierung als auch Trennung durch transportable Schutzeinrichtung möglich, wird davon ausgegangen, dass gemäß ARS 18/1999 [BMVBW 1999] transportable Schutzeinrichtungen eingesetzt werden.
- Ist die vollständige Sperrung einer Richtungsfahrbahn sowohl durch die Verkehrsführung 3s+0 als auch durch 4s+0 möglich, wird davon ausgegangen, dass dem System 4s+0 der Vorzug gegeben wird, da hierbei die Zahl der Fahrstreifen nicht reduziert werden muss.
- Sind bei Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen sowohl die Verkehrsführungen 3s+1 wie auch 4s+0 möglich, wird davon ausgegangen, dass die Behelfsverkehrsführung als 4s+0 betrieben wird.
- Bei den betrachteten Breiten ist in jedem Fall die Einrichtung einer Behelfsverkehrsführung des Typs 3s+0 möglich. Daher wird auf die Betrachtung der Verkehrsführung 2s+0 nachfolgend verzichtet, da hierbei in beiden Fahrrichtungen eine Reduktion der Fahrstreifenanzahl erfolgen müsste. Dies ist aus Sicht des Verkehrsablaufs zu vermeiden.

| Breite der befestigten Fläche | 3s+0 | | 3s+1 | | 4s+0 | |
|--------------------------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| | Markierung | transp. Schutzeinr. | Markierung | transp. Schutzeinr. | Markierung | transp. Schutzeinr. |
| 10,0 m | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ✗ | ✗ |
| 10,5 m | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ✗ | ✗ |
| 11,0 m | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ✗ | ✗ |
| 11,5 m | ○ | ○ | ○ | ✓ | ✓ | ✗ |
| 12,0 m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ✓ |

Tabelle 2-4: Einsatzmöglichkeit verschiedener Verkehrsführungen bei Regelbreiten der befestigten Fläche
 ✓ = möglich; ✗ = nicht möglich; ○ = nicht sinnvoll

2.1.4 Bevorzugte Verkehrsführungen, bevorzugte Trennungssysteme

In den RSA-95, Teil D 2.3.2 [BMVBW 1995] heißt es: „Bei mehreren Möglichkeiten der Verkehrsführung ist im Interesse der Verkehrssicherheit, der Sicherheit im Arbeitsbereich der Arbeitsstelle und des ungehinderten Bauablaufs anzustreben, keine einzelnen Behelfsfahstreifen unmittelbar neben der Arbeitsstelle zu führen (d.h. Verkehrsführung 4 + 0 statt 3 +1 bzw. 3 + 0 statt 2 +1); dies gilt vor allem bei Arbeitsstellen, die sich über einen größeren Abschnitt erstrecken.“ Im Schreiben des Referates S 27 des BMVBS – Erhaltung und Betriebsdienst (betriebliche Unterhaltung) – vom 21.06.2006 heißt es: „Aus Sicht der Erhaltung ist ein Querschnitt mit 12 m befestigter Fahrbahnbreite für die Einrichtung einer 4+0-Verkehrsführung bei der Durchführung von Erhaltungsarbeiten aus Gründen der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs sowie der Sicherheit des Baupersonals während der Durchführung von Erhaltungs- und Bauarbeiten einem FB-Querschnitt mit geringerer befestigter Breite vorzuziehen. In Zukunft müssen verstärkt grundlegende Erneuerungsmaßnahmen durchgeführt werden. Es zeigt sich deutlich, dass insbesondere auf verkehrlich hochbelasteten Strecken die baustellenbedingten Verkehrsbehinderungen möglichst gering gehalten werden müssen. Bei den Fahrbahnbefestigungen werden bei Erneuerung aller Fahstreifen langlebigere Ausführungsqualitäten erreicht. Aus diesen Gründen sollten zukünftig die Autobahnquerschnitte für eine 4+0-Verkehrsführung mit ausreichender Breite ausgelegt sein.“

Somit wird aus Gründen der höheren Sicherheit für Verkehrsteilnehmer und Baupersonal und auch aus technischer Sicht (Bauablauf) empfohlen, möglichst eine „+0-Verkehrsführung“ einzurichten. Eine solche Art der Verkehrsführung kann aufgrund der erforderlichen Arbeiten zwingend erforderlich bzw. empfehlenswert werden. So ergab die von [BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. 2006] durchgeführte Befragung der Straßenbaubehörden, dass beispielsweise bei der Durchführung von umfangreichen Sanierungsarbeiten an Brückenbauwerken eine vollständige Sperrung der betroffenen Richtungsfahrbahn erforderlich ist. Für eine vollständige Sperrung der Richtungsfahrbahn spricht ferner, dass bestimmte Bauweisen nur bei einer solchen Sperrung wirtschaftlich sinnvoll durchgeführt werden können. Dies betrifft die aufgrund ihrer hohen Belastbarkeit bevorzugten Bauweisen aus Zementbeton und Gussasphalt. Bei Bauweisen die auch bei teilweiser Sperrung der Richtungsfahrbahn eingebaut werden können, wie z. B. Splittmastixasphalt, entsteht eine einbaubedingte Längsnaht (vgl. SCHÄFER 2001). Der Nahtbereich stellt einen Schwachpunkt des Straßenaufbaus dar. Denn in diesem Bereich können insbesondere bei einer fehlerhaften oder qualitativ minderwertigen Nahtausbildung durch die verkehrlichen und witterungsbedingten Einwirkungen leichter Schäden am Straßenoberbau entstehen. Hierdurch kann sich die Lebensdauer des Straßenaufbaus verringern, durch zusätzliche Reparaturmaßnahmen müssen vorhandene Schwachstellen oder entstandene Schäden beseitigt werden.

Im Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 18/1999 [BMVBW 1999] wird für den Bereich längerfristiger Arbeitsstellen „zur Verminderung der Unfallfolgen infolge des Abkommens von Fahrzeugen von der Fahrbahn“ grundsätzlich der Einsatz von

transportablen Schutzeinrichtungen gefordert, wenn dies aufgrund der vorhandenen Querschnittsabmessungen möglich ist.

Berücksichtigt man, dass im Bereich von Arbeitsstellen die Zahl der Fahrstreifen so weit möglich zu erhalten ist (vgl. RAS-95, D 2.3.1 [BMVBW 1995] und RBAP-96, 2.2 [BMVBW 1996 a]), ergeben sich aus den oben gemachten Ausführungen für den Bereich zweibahnig-vierstreifiger Autobahnen als primäre Forderungen für Verkehrsführung und Trennungssystem:

1. Verkehrsführung nach dem 4s+0-Prinzip
2. Trennung der entgegen gerichteten Verkehrsströme durch transportable Schutzeinrichtungen

Wie in Kapitel 2.1.3 dargestellt, ist für eine solche Kombination bei einer Länge der Arbeitsstelle von bis zu 6 km eine Breite der befestigten Fläche von mindestens 12,0 m erforderlich. Eine solche Breite weist keiner der bislang eingesetzten vierstreifigen Regelquerschnitte auf. Zukünftig ist vorgesehen mit dem RQ 31 (siehe Entwurf der RAA [FGSV 2005]) einen Querschnitt zu schaffen, der eine solche Breite aufweist.

2.1.5 Mindestfahrstreifenbreiten

Die erforderliche Fahrstreifenbreite ergibt sich aus der Summe der Breite des Bemessungsfahrzeuges sowie dem seitlichen Bewegungsspielraum. Als Breite der Bemessungsfahrzeuge wird bei der Querschnittsbemessung von Autobahnen im Regelfall die maximale, allgemein zulässige Breite von Kfz nach StVZO angenommen. Diese beträgt zurzeit 2,55 m (§32 StVZO). Wird für einen Fahrstreifen durch entsprechende Beschilderung (Zeichen 264 StVO) die zulässige Fahrzeugbreite beschränkt, kann im Einzelfall auch eine andere Breite für die Querschnittsbemessung angesetzt werden. Dies kann insbesondere für den linken Fahrstreifen von Behelfsverkehrsführungen gelten, wenn dieser nur für Fahrzeuge mit einer Breite von maximal 2,0 m zugelassen ist.

In den RAS-Q 1996 [FGSV 1996] wird der seitliche Bewegungsspielraum wie folgt definiert: „Der seitliche Bewegungsspielraum ist der Raum, den ein frei lenkbares Fahrzeug zum Ausgleich von Fahr- und Lenkungenauigkeiten und als Sicherheitsabstand für überstehende Teile (z. B. Spiegel) benötigt.“

In den RAS-Q 96 [FGSV 1996] betragen die seitlichen Bewegungsspielräume an zweibahnig-vierstreifigen Straßen, ausgehend von einer Fahrzeugbreite von 2,50 m, für den

- RQ 29,5 - 1,25 m,
- für den RQ 26 - 1,00 m und
- für den auf Autobahnen im Regelfall nicht einzusetzenden RQ 20 - 0,75 m.

Hieraus resultieren dann unter Berücksichtigung der Breite des Bemessungsfahrzeuges die Fahrstreifenbreiten von 3,75 m, 3,50 m und 3,25 m. Diese Abmessungen der Fahrstreifenbreiten finden sich auch im Entwurf der RAA [FGSV 2005] wieder. Allerdings mussten die Bewegungsspielräume aufgrund des inzwischen 2,55 m breiten Bemessungsfahrzeuges um 0,05 m vermindert werden.

Für die in den RSA-95 [BMVBW 1995] angegebenen Mindestfahrstreifenbreiten ergeben sich die in Tabelle 2-5 dargestellten Maße der seitlichen Bewegungsspielräume. Bei der Berechnung der seitlichen Bewegungsspielräume wurde dabei von einem Bemessungsfahrzeug mit 2,55 m Breite bzw. der angeordneten Breitenbeschränkung ausgegangen. Die sich aus den Fahrstreifenbreiten nach RSA ergebenden seitlichen Bewegungsspielräume liegen somit deutlich unter den Bewegungsspielräumen, die in den RAS-Q 96 [FGSV 1996] bzw. in der RAA [FGSV 2005] angesetzt werden.

| | Arbeitsstellenlänge | Mindestfahrstreifenbreite nach RSA 1995 | Fahrzeugbreite | Seitlicher Bewegungsspielraum |
|--|------------------------|---|----------------|-------------------------------|
| Beschränkung der Fahrzeugbreite auf bis zu 2 m (Zeichen 264) | Bis zu 6 km | 2,50 m | 2,00 m | 0,50 m |
| | Mehr als 6 bis zu 9 km | 3,00 m | 2,00 m | 1,00 m |
| | Mehr als 9 km | 3,25 m | 2,00 m | 1,25 m |
| Unbeschränkt | | 3,25 m (3,00 m) | 2,55 m | 0,70 m (0,45 m) |

Tabelle 2-5: Mindestbreite von Behelfsfahrstreifen und Größe der seitlichen Bewegungsspielräume

Die Größe des erforderlichen Bewegungsspielraumes ist von der Art des Fahrzeuges und der Größenordnung der auftretenden Fahr- und Lenkungenauigkeiten sowie den Abständen die der Fahrer zu seitlichen Hindernissen bzw. Fahrzeugen nicht unterschreiten möchte abhängig. Die Fahr- und Lenkungenauigkeiten sind wiederum von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängig. Dies sind z. B. der Fahrer, das Fahrzeug, die Geschwindigkeit, der Straßenzustand und die Witterung.

Verschiedene Untersuchungen, wie z. B. von KNOFLACHER/SCHOPF (1981) oder OELLERS (1976), haben sich bereits dem Problem der erforderlichen Bewegungsspielräume angenommen. Allerdings wurden in diesen Untersuchungen die speziellen bei Behelfsverkehrsführungen auftretenden Randbedingungen wie Geschwindigkeitsbeschränkung, geringe Fahrstreifenbreiten und zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung nicht betrachtet. In der Untersuchung von KAYSER et al. (1991) wurden Fahrversuche auf einem verkehrsfreien Autobahnabschnitt mit verschiedenen breiten, durch Leitelemente gebildete, Fahrgassen durchgeführt. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass eine Verringerung der Fahrgassenbreite unter 2,50 m nicht empfohlen werden kann, da es hierbei vermehrt zu Fahrunsicherheiten und Kollisionen mit den Fahrgassenbegrenzungen kam.

Wenn in der Praxis eine Behelfsverkehrsführung der Form 4s+0 aufgrund zu geringer Breite der befestigten Fläche nicht eingerichtet werden kann, werden die in der RSA 95 [BMVBW 1995] angegebenen Mindestfahrstreifenbreiten zum Teil unterschritten. Um diese Unterschreitung rechnerisch herzuleiten, müsste entweder die Fahrzeugbreite oder der seitliche Bewegungsspielraum vermindert werden.

Da die zulässige Breite der Fahrzeuge, die auf dem Abschnitt der Behelfsverkehrsführung zu erwarten ist, durch die StVZO bestimmt ist, kann die zulässige Breite nur

durch entsprechende Verkehrszeichen (Zeichen 264) vermindert werden. Allerdings sollte auf Autobahnen zumindest ein Fahrstreifen auch für Fahrzeuge mit einer Breite nach StVZO befahrbar sein. Eine Beschränkung aller Fahrstreifen einer Fahrtrichtung z. B. für Fahrzeuge mit einer maximalen Breite von 2,0 m würde quasi einer Vollspernung der Autobahn für Fahrzeuge des Schwerverkehrs gleichkommen. Dies kann vor allem auch bei Betrachtung der hierdurch entstehenden Verkehrsverlagerungen auf das nachrangige Straßennetz aus Gründen des Verkehrsablaufs, der Wirtschaftlichkeit und der Verkehrssicherheit nicht als Lösung angesehen werden. Demzufolge bleibt nur die Möglichkeit, den zweiten Fahrstreifen unter das jetzt übliche Maß von 2,0 m hinaus zu beschränken, z. B. auf 1,80 m. Die hieraus resultierenden Folgen sind abzuklären.

Als weitere Möglichkeit kann der seitliche Bewegungsspielraum unter die den Fahrstreifenbreiten der RSA 95 [BMVBW 1995] zugrunde liegenden Maße eingeschränkt werden. Dies ist dann unkritisch, wenn trotz dieser Verminderung der seitlichen Bewegungsspielräume diese in der Praxis zum Ausgleich der Fahr- und Lenkungenauigkeiten nicht voll ausgenutzt werden müssen.

Es stellt sich somit die Frage, welche seitlichen Bewegungsspielräume unter den speziellen Randbedingungen einer Behelfsverkehrsführung auf Autobahnen erforderlich sind.

2.2 Struktur der Arbeitsstellen in der Praxis

2.2.1 Verkehrsführungen und Trennungssysteme

Um einen Überblick über die im Bereich von Arbeitsstellen angewandten Verkehrsführungen der Jahre 1999 bis 2002 zu bekommen, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes FE 82.219/2001 (FISCHER/BRANNOLTE 2006) die Straßenbauverwaltungen der Bundesländer angeschrieben und gebeten, aus ihrem Zuständigkeitsbereich die Arbeitsstellen mit Behelfsverkehrsführungen an Bundesautobahnen zu benennen, die eine Länge von > 1 km aufweisen und bei denen eine Fahrtrichtung zumindest teilweise auf der Gegenfahrbahn geführt wird. Neben den Angaben zu Dauer, Länge und Lage der Baumaßnahmen wurden auch die Art der Verkehrsführung und Art der eingesetzten Trennung der Gegenverkehrsfahrstreifen abgefragt (Fragebogen siehe Anhang, Anlage 14).

Nach Sichtung der Rückmeldungen können bei Betrachtung der jeweiligen Streckenlängen folgende Aussagen getroffen werden:

- a) Unter den Verkehrsführungen mit Gegenverkehr auf einer Fahrbahn wurden in den Jahren 1999 – 2002 im Bereich zweistreifiger Richtungsfahrbahnen und dreistreifiger Richtungsfahrbahnen am häufigsten 2+0, 3s+1, 4s+0 sowie 4+2 Verkehrsführungen eingesetzt, siehe Bild 2-13. Damit können die Aussagen von KRAUSE/HAUSMANN (1996) zur Häufigkeit verschiedener Arbeitsstellenverkehrsführungen auf Bundesautobahnen bestätigt werden.
- b) Als Trennung der Gegenverkehrsfahrspuren werden in über 60% der Streckenlänge Stahlschutzwände eingesetzt. Leitschwellen und Fahrbahnmarkierungen

mit Sichtzeichen werden etwa gleichhäufig in etwa 20% der Streckenlänge eingesetzt. Der Einsatz von Betonschutzwänden spielt mit etwa 1% der Streckenlänge nur eine untergeordnete Rolle (Bild 2-14).

- c) Schlüsselte man den Einsatz der Systeme nach den Verkehrsführungen auf, erkennt man, dass im Bereich der Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0 in der Regel Stahlschutzwände als Fahrtrichtungstrennung eingesetzt werden (Bild 2-15). Im Vergleich zur Verkehrsführung 3s+1 finden bei einer Verkehrsführung 4s+0 jedoch in stärkerem Maße auch Leitschwellen und Markierungen mit Sichtzeichen Anwendung.

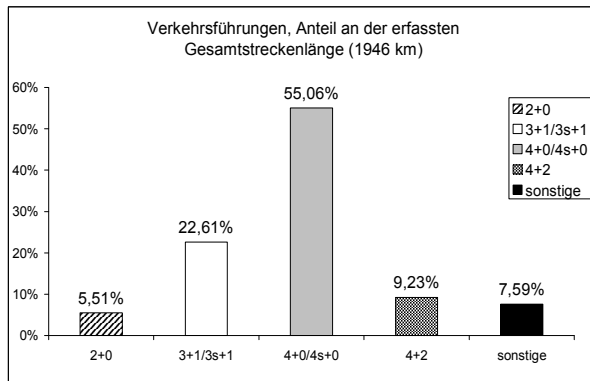


Bild 2-13: Verkehrsführungen mit Überleitung aus den Jahren 1999 – 2002, Anteile an der erfassten Gesamtstreckenlänge

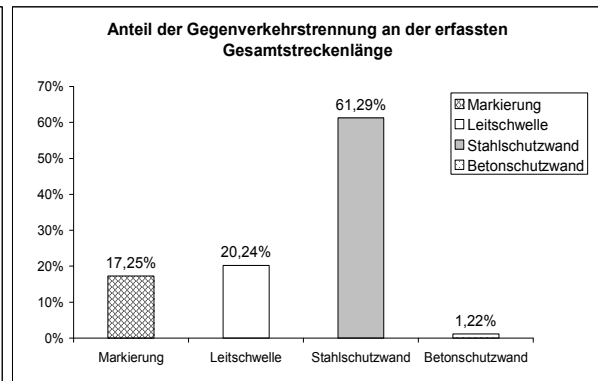


Bild 2-14: Anteil der eingesetzten Gegenverkehrstrennung an allen erfassten Arbeitsstellen

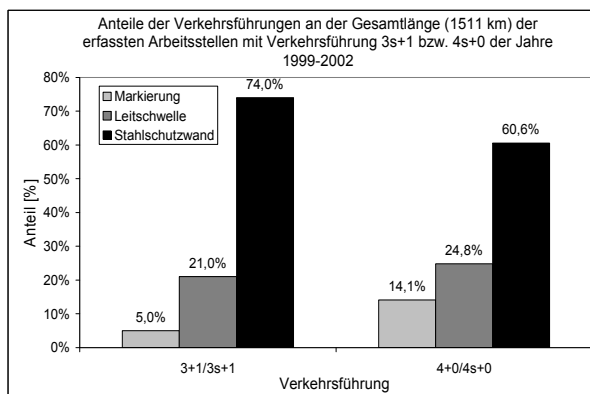


Bild 2-15: Anteil der eingesetzten Gegenverkehrstrennung für verschiedene Verkehrsführungen an der erfassten Gesamtstreckenlänge, Daten aus den Jahren 1999-2002

2.2.2 Arbeitsstellenlänge

Die Auswertung der im Rahmen der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) erhobenen Daten in Bezug auf die Arbeitsstellenlänge ergibt, dass die mittlere Länge der Arbeitsstellen mit Verkehrsführung 3s+1 und 4s+0 bei 3,5 bzw. 4,3 km liegt. Eine Arbeitsstellenlänge von 6 km wird dabei von 15 % (3s+1) bzw. 25 % (4s+0) überschritten. Arbeitsstellen mit einer Länge von mehr als 9 km stellen mit einem Anteil von ca.

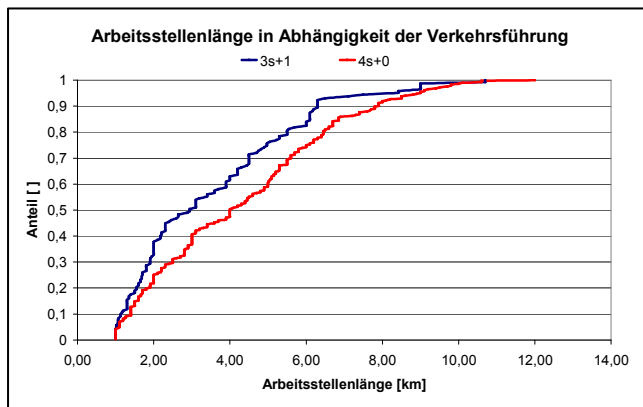


Bild 2-16: Häufigkeit verschiedener Verkehrsführungen in Abhängigkeit von der Arbeitsstellenlänge

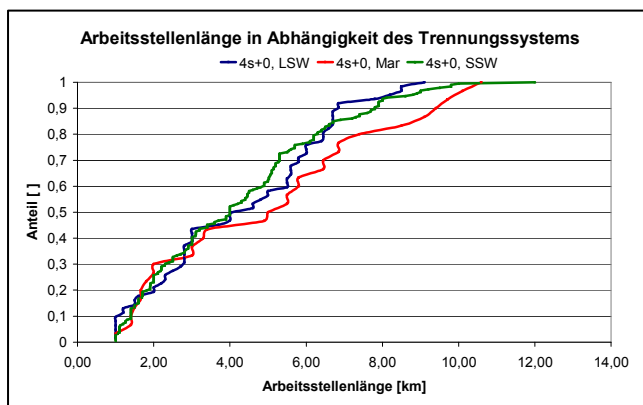


Bild 2-17: Häufigkeit des Einsatzes verschiedener Trennungssysteme an Arbeitsstellen mit 4s+0 Verkehrsführung in Abhängigkeit von der Arbeitsstellenlänge

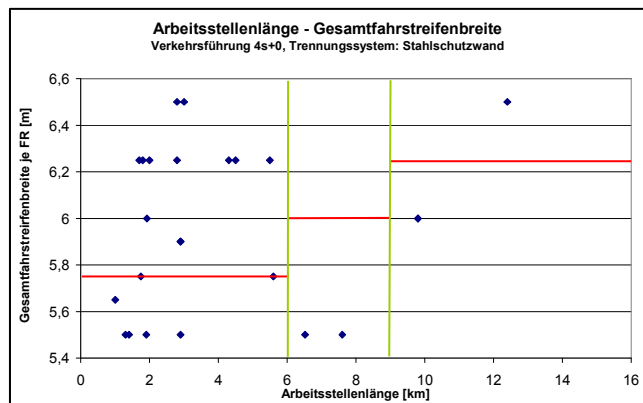


Bild 2-18: Gesamtfahrstreifenbreiten je Fahrtrichtung bei Verkehrsführung 4s+0 mit Fahrtrichtungstrennung aus Stahlschutzwänden. Rot: Mindestbreiten nach RSA 95

5 % die Ausnahme dar. Es ist hierbei anzumerken, dass bei der Erhebung nur Arbeitsstellen mit einer Länge von mindestens 1,0 km berücksichtigt wurden.

Vergleicht man die Verteilungen der Arbeitsstellenlängen in Abhängigkeit von der Verkehrsführung, stellt man einen deutlichen Unterschied der Summenhäufigkeitslinien zwischen der Verkehrsführung 3s+1 und der Verkehrsführung 4s+0 fest.

Ein Einfluss der Arbeitsstellenlänge auf das zur Fahrtrichtungstrennung eingesetzte System unterteilt nach Markierung mit Sichtzeichen, Leitschwellen und Stahlschutzwänden, kann für die Verkehrsführung 4s+0 nicht nachgewiesen werden (Bild 2-17). Die Überprüfung mittels Kolmogoroff-Smirnoff-Test liefert das Ergebnis, dass sich die Verteilungen auf einem Niveau von $\alpha = 0,05$ nicht signifikant voneinander unterscheiden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sie einer Grundgesamtheit entstammen.

Eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Arbeitsstellenlänge und der Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung bei Arbeitsstellen mit 4s+0 Verkehrsführung liefert folgende Erkenntnisse (Bild 2-18):

- Größere Gesamtfahrstreifenbreiten $> 6,0$ m treten sowohl bei kleinen als auch bei großen Arbeitsstellenlängen auf.
- Geringe Gesamtfahrstreifenbreiten $< 6,0$ m treten vor allem bei Arbeitsstellenlängen von weniger als 3 km Länge auf. Bei größeren Längen der Arbeitsstellen wurden solche geringen Gesamtfahrstreifenbreiten nicht registriert. Dies ist vermutlich auf die Regelungen der RSA 95 [BMVBW 1995] zurückzuführen, die für größere Arbeitsstellenlängen größere Fahrstreifenbreiten vorsehen.

- Die Mindestfahrstreifenbreiten gemäß RSA 95 [BMVBW 1995] (in Bild 2-18 mit einem roten horizontalen Strich markiert) werden häufig unterschritten, hierbei wird meist die Breite des rechten Fahrstreifens von 3,25 m auf 3,0 m reduziert.
- Die Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten betrifft in Arbeitsstellen bei denen als Trennungssystem eine Stahlschutzwand (Bild 2-18) eingesetzt wird 9 von 24 Fällen (37,5 %). Bei Verwendung von Doppellinienmarkierung oder Leitschwellen als Trennungssystem werden die Vorgaben der RSA fast ebenso häufig (in 36% der Fälle) unterschritten.

2.2.3 Umfang, Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen längerer Dauer an Autobahnen

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Volkswirtschaftliche Nutzen neuer Autobahnquerschnitte - Projekt 18.0016/2005“ (BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al, 2006) wurde eine Befragung von ausgewählten Straßenbauverwaltungen zu Umfang, Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen längerer Dauer an Autobahnen durchgeführt (Fragebogen siehe Anhang, Anlage 15). Ergänzt wurde diese Befragung durch Angaben der zuständigen Abteilungen des BMVBS.

Die von den Straßenbauverwaltungen gemachten Angaben in Bezug auf Häufigkeit und Dauer der Baumaßnahmen, Deckenerneuerung und grundlegende Erneuerung sind in Tabelle 2-6 und 2-7 dargestellt.

| Land / Quelle | Deckenerneuerung | | grundhafte Erneuerung | |
|----------------|----------------------------|----------------------------|--|---|
| | 3s+1 Dauer [Tage/km] | 4s+0 Dauer [Tage/km] | 3s+1 Dauer [Tage/km] | 4s+0 Dauer [Tage/km] |
| ABD Nordbayern | 8 | 5 – 6 | 10 | 8 |
| Hessen | 12 - 14 | 10 - 12 | 25 – 80 ¹ 5-16 ² | 20 -75 ¹ 4-15 ² |
| NRW | 3 | 3 | 40 – 60 ¹ 10 - 15 ² | 30 – 50 ¹ 8 - 12 ² |
| BMVBS | 10 | 6 | 14 | 8 |

Tabelle 2-6: Angaben der Straßenbauverwaltungen zur Dauer von Arbeitsstellen infolge Deckenerneuerung oder grundlegender Erneuerung bezogen auf eine Länge von 1 km (nach BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al., 2006) (¹Dauer pro Arbeitsstelle; ²abgeleitete Dauer/km)

| Autobahnamt | Deckenerneuerung Turnus [Jahren] | Grundhafte Erneue- rung Turnus [Jahren] | Brückensanierung Turnus [Jahren] |
|-----------------------|---|---|--|
| ABD Nordbayern | GU: 30; Beton: 30; Abn: 15; SMA: 15-20 | Binder und Decke: max. 20; Tragschicht: max. 40 | Stark abhängig von Bauweise und Länge |
| Brandenburg | keine Angaben | Keine Angaben | 20-30 |
| Saarland | 10-15 | 20-25 | keine Angaben |
| Hessen | 5 - 15 | 25 - 30 | keine Angaben |
| NRW | 12 | 30 | 20 |
| BMVBS | 15 | 30 | keine Angaben |

Tabelle 2-7: Angaben der Straßenbauverwaltungen zu Häufigkeit von Arbeitsstellen infolge Deckenerneuerung oder grundhafter Erneuerung. (nach BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al., 2006). Abkürzungen: GU – Gussasphalt; Abn – Asphaltbinder; SMA – Splittmastixasphalt

Es wird deutlich, dass die Angaben der Ämter häufig eine sehr große Bandbreite aufweisen und zum anderen die Angaben der verschiedenen Ämter untereinander zum Teil deutlich differieren. Zwei wesentliche Aussagen lassen sich jedoch aus den Angaben ableiten:

1. Eine Deckenerneuerung wird etwa alle 15 Jahre erforderlich, eine grundhafte Erneuerung etwa alle 30 Jahre.
2. Werden die Baumaßnahmen im Zuge einer 3s+1 Verkehrsführung durchgeführt, verlängert sich die Bauzeit um ca. 30 % gegenüber 4s+0.

Die Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 2001) geht standardmäßig von einem Nutzungszeitraum von 30 Jahren für den Straßenoberbau aus.

Brückenbauwerke haben eine generell wesentlich längere Lebensdauer (ca. 50 bis 80 Jahre). Art und Umfang der während der Lebensdauer zusätzlich erforderlichen Wartungs- und Erhaltungsmaßnahmen am Brückenbauwerk hängen stark von der jeweiligen Bauweise des Bauwerkes (Stahl, Beton, Spannbeton, Statisches System, etc.) ab.

Hinsichtlich der Dauer von Arbeitsstellen ergab eine stichprobenhafte Auswertung des Baustelleninformationssystems des Bundes (http://www.bmvbs.de/Service/_373/Baustellen-Informationssystem.htm) vom 05. Mai 2006, dass die mittlere Dauer von Arbeitsstellen mit Merkmal Fahrbahninstandsetzung/Deckenerneuerung 55 Tage beträgt, die durchschnittliche Länge lag bei 4 km. WEINSPACH (1988) gibt die mittlere Dauer einer Arbeitsstelle zur Fahrbahnerneuerung mit 1,7 Monaten (also ca. 51 Tagen) an, die mittlere Länge einer solchen Arbeitsstelle ermittelte WEINSPACH 1998 mit 3,2 km.

KRAUSE/HAUSMANN (1996) geben die Lebensdauer einer Fahrbahndecke mit 20 bis 25 Jahren an, wobei die mittlere Dauer länger dauernder Arbeitsstellen im Jahr 1995 bei 100 Tagen, bei einer mittleren Länge aller Autobahnarbeitsstellen von 2,9 km lag. Allerdings unterscheiden KRAUSE/HAUSMANN (1996) dabei nicht, ob es sich um De-

ckenerneuerungen, grundhafte Erneuerung, Brückenbauarbeiten oder einen Ausbau der Autobahn handelt.

Eine vom BMVBS im Rahmen der Arbeit von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) durchgeführte Befragung von Bauunternehmen ergab folgende Ergebnisse:

- Deckenerneuerung im Mittel alle 15 Jahre (bei Asphaltbauweise, die bei Beton größeren Abstände werden durch Arbeiten zwecks Fugenpflege, Plattenenerneuerungen etc. etwa ausgeglichen)
- Grundhafte Erneuerung im Mittel alle 30 Jahre, unabhängig von der Bauweise
- Dauer bei Deckenerneuerung 6 Tage pro km bei Verkehrsführung 4s+0 und 10 Tage pro km bei 3s+1
- Dauer bei grundhafter Erneuerung 8 Tage pro km (4s+0) und 14 Tage pro km bei 3s+1.

Im Rahmen der Untersuchung von Bark/Brannolte/Fischer et. al. (2006) wurden die Arbeitsstellen längerer Dauer an Bundesautobahnen mit Verkehrsführung 4s+0 aus dem Jahr 2005 (bundesweit) hinsichtlich ihrer Dauer ausgewertet. Dabei waren die Arbeitsstellen in die Kategorien I2 (großflächige Instandsetzung der Deckschicht), E1 (Erneuerung von Deck- und Binderschicht) und E2 (großflächige Erneuerung des Oberbaus) eingeteilt. Maßnahmen der Kategorien I2 und E1 entsprechen dabei hinsichtlich des Umfanges einer Deckenerneuerung, die Kategorie E2 einer grundhaften Erneuerung. Die Auswertung lieferte folgende Erkenntnisse:

- Baumaßnahmen der Kategorien I2 und E1 haben eine mittlere Dauer von 33 Tagen, bei einer relativen Dauer von 10 Tagen/km und einer mittleren Länge von 5,4 km.
- Baumaßnahmen der Kategorie E2, haben eine mittlere Dauer von 103 Tagen, bei einer relativen Dauer von 31 Tagen/km und einer mittleren Länge von 4,5 km.
- 50% dieser E2-Maßnahmen weisen eine Dauer von weniger als 86 Tagen, 80 % eine Dauer von weniger als 148 Tagen auf.

Zu beachten ist, dass bei den Arbeitsstellen unter der Kategorie E2 zum Teil auch Arbeitsstellen erfasst wurden, bei denen neben der Erneuerung der bestehenden Fahrbahn auch ein Ausbau (z. B. Anbau Seitenstreifen oder Ausbau von 4 auf 6 Fahrstreifen) erfolgt ist. Diese insgesamt umfangreicheren und länger dauernden Maßnahmen sind jedoch für den Fall der reinen grundhaften Erneuerung des Oberbaus der bestehenden Fahrbahnen nicht repräsentativ. Für diese Fälle ist daher von

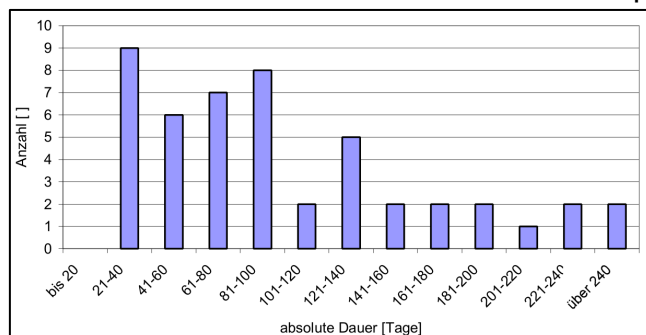


Bild 2-19: Dauer von Arbeitsstellen an Bundesautobahnen mit der Verkehrsführung 3s+1 oder 4s+0, Art der Arbeitsstelle E2 „großflächige Erneuerung des Oberbaus“

einer deutlich geringeren mittleren Dauer auszugehen. Die Betrachtung der Verteilung der Dauern der Arbeitsstellen bestätigt dies (Bild 2-19). Eine große Zahl von Arbeitsstellen weist eine Dauer von bis zu 100 Tagen auf. Darüber hinaus treten Arbeitsstellen mit sehr langer Dauer in deutlich geringerer Zahl auf.

Eine Aussage über die exakte Dauer von Arbeitsstellen ist aufgrund der indifferenten Ergebnisse aus der im Rahmen der Untersuchung von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al. (2006) durchgeführten Befragung nur schwer möglich, da jede Baumaßnahme, insbesondere die größeren Umfanges letztendlich vom Umfang, Ablauf und Randbedingungen her ein Unikat ist. Die Dauer der Arbeitsstelle hängt u. a. vom Umfang der Arbeiten, von der Länge des Bauloses, von der Jahreszeit, von der Verkehrsführung und von vertraglichen Randbedingungen (Festlegung von Fertigstellungsterminen) ab. Für den Fall einer grundhaften Erneuerung weisen die Angaben der Landesverwaltungen und des BMVBS mit einer mittleren Dauer von ca. 40 Tagen (bei einer Länge von 5 km) eine gute Übereinstimmung auf. Dem entgegen zeigt die Auswertung der Arbeitsstellenstatistik bei Arbeitsstellen der Klassifizierung E2 eine deutlich längere Dauer. Für den Fall einer Deckenerneuerung stimmen die vorliegenden Angaben weitgehend überein, so dass bei einer mittleren Arbeitsstellenlänge von ca. 5 km und einer Dauer von ca. 6 Tagen pro km von einer Dauer von ca. 30 Tagen ausgegangen werden kann.

2.2.4 Maßnahmen bei nicht ausreichender Breite der befestigten Fläche

Wie in Kapitel 2.1.3 gezeigt, ist für die bevorzugte Verkehrsführung 4s+0 mit Trennung der Fahrtrichtungen durch transportable Schutzeinrichtungen unter Einhaltung der Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA [BMVBW 1995] eine Breite der befestigten Fläche von mindestens 12,0 m erforderlich. Die vorhandenen vierstreifigen Autobahnquerschnitte weisen aber in der Regel geringere Abmessungen auf. Somit ist klar, dass sich die favorisierte Kombination aus Verkehrsführung und Trennungssystem nicht umsetzen lässt. In der Praxis haben sich daher verschiedene Kompromisslösungen ausgebildet.

- a) Verzicht auf den Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen, stattdessen Einsatz einer Markierung als Fahrtrichtungstrennung
- b) Verzicht auf eine 4s+0 Verkehrsführung, stattdessen Verkehrsführung nach dem 3s+0 oder 3s+1 Prinzip
- c) Unterschreitung der in den RSA vorgesehenen Mindestfahrstreifenbreiten
- d) Verbreiterung der befestigten Fläche im Vorlauf der eigentlichen Baumaßnahme

Nachfolgend werden die vier Varianten kurz beschrieben:

- a) Verzicht auf den Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen, stattdessen Einsatz einer Markierung als Fahrtrichtungstrennung

Bei zu geringer Breite der befestigten Fläche kann auf den Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen zu Trennung der Fahrtrichtungen verzichtet werden, um eine Verkehrsführung nach dem 4+0 Prinzip einzurichten. Die erforderliche Breite für die Fahrtrichtungstrennung kann bei Einsatz von Markierungsnägeln auf 0,0 m Breite reduziert werden. Es wird vermutet, dass ein solcher Verzicht sich negativ auf die

Verkehrssicherheit auswirkt. Ferner sind auch Auswirkungen auf den Verkehrsablauf, z. B. auf das Überholverhalten zu vermuten, insbesondere dann, wenn aufgrund der Fahrtrichtungstrennung (Markierung, Trennstreifenbreite 0,0 m) eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h als erforderlich erachtet wird.

b) Verzicht auf eine 4s+0 Verkehrsführung, stattdessen 3s+1 oder 3s+0 Verkehrsführung

Aus bautechnischer Sicht ist es günstig, bei Deckenerneuerungen bzw. grundhaften Erneuerungen des Straßenoberbaus, die jeweils betroffene Richtungsfahrbahn vollständig zu sperren. Gleichzeitig sollte die Fahrstreifenzahl durch die einzurichtende Behelfsverkehrsführung nach Möglichkeit nicht reduziert werden. Demzufolge stellt eine Verkehrsführung nach dem 4s+0 Prinzip die Wunschlösung dar. Kann aufgrund zu geringer Breiten diese nicht realisiert werden, kann eine alternative Verkehrsführung gewählt werden. Dabei bestehen folgende Möglichkeiten:

1. Reduzierung der Anzahl der Fahrstreifen, bei Beibehaltung der Vollsperrung einer Richtungsfahrbahn

Somit ergibt sich eine Verkehrsführung nach dem 3s+0 Prinzip, bei der in einer Fahrtrichtung nur noch ein Behelfsfahrstreifen zur Verfügung steht. Dies bedeutet, dass die verkehrliche Kapazität einer solchen Verkehrsführung erheblich eingeschränkt ist. Hieraus resultiert ein relativ eng begrenzter Einsatzbereich, die RSA 1995 [BMVBW 1995] geben eine Spitzenstundenbelastung von 1500 Kfz/h als Grenzwert für den Einsatz eines einzelnen Fahrstreifens an. Übersteigt die tatsächliche Verkehrsbelastung die Kapazität, führt dies unweigerlich zu überlastungsbedingten Stauerscheinungen. Durch die Reduzierung auf nur noch einen Behelfsfahrstreifen wird ferner ein Überholen in der betroffenen Fahrtrichtung unmöglich. Desweiteren sind auch Auswirkungen auf das Unfallgeschehen z. B. durch die eingeschränkten Überholmöglichkeiten zu erwarten.

2. Verzicht auf eine vollständige Sperrung einer Richtungsfahrbahn, bei Beibehaltung der Anzahl der Fahrstreifen

Hieraus ergibt sich eine 3s+1 Verkehrsführung, bei der für jede Fahrtrichtung 2 Behelfsfahrstreifen zur Verfügung stehen. Dabei verbleibt 1 Behelfsfahrstreifen auf der baustellenzugewandten Richtungsfahrbahn. Dies bedeutet auch, dass in dieser Fahrtrichtung keine Überholvorgänge möglich sind, da beide Fahrstreifen durch den bestehenden Mittelstreifen räumlich getrennt sind. Erhebliche Auswirkungen lassen sich für den Bauablauf erwarten, da nun das Baufeld nicht mehr vollständig zur Verfügung steht. Hieraus resultieren Einschränkungen hinsichtlich des Bauablaufes. Diese können verglichen mit einer vollständigen Sperrung der Richtungsfahrbahn zu Bauzeitverlängerungen, höheren Baukosten und Einschränkungen in der Wahl der Bauweisen führen.

c) Unterschreitung der in den RSA vorgegebenen Mindestmaße für Breiten von Behelfsfahrstreifenbreiten

Werden die in den RSA genannten Mindestfahrstreifenbreiten unterschritten und der Ausnahmewert von 3,0 m für den jeweils rechten Fahrstreifen angesetzt, kann auch bei vorhandener befestigter Breite der Richtungsfahrbahn von 11,5 m eine Verkehrsführung 4s+0 mit transportablen Schutzeinrichtungen eingerichtet werden. Diese Verminderung der Fahrstreifenbreiten wird sich vermutlich sowohl auf das Fahrerverhalten als auch auf das Unfallgeschehen auswirken. So kann erwartet werden, dass infolge der pro Fahrtrichtung 0,25 m geringeren Breite Überholvorgänge nicht mehr so häufig und wenn, dann möglicherweise mit geringeren seitlichen Sicherheitsabständen zur Fahrtrichtungstrennung bzw. zum überholten Fahrzeug, durchgeführt werden. Hieraus sind Auswirkungen auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten, die Kapazität und das Unfallgeschehen zu erwarten. Ferner stellt sich die Frage, ob die geringeren vorhandenen seitlichen Abstände bei Überholvorgängen durch geringere Bewegungsspielräume der Fahrzeuge bei Überholvorgängen kompensiert werden können. Aus dieser Fragestellung leitet sich dann auch die Frage nach den erforderlichen Mindestfahrstreifenbreiten ab.

d) Verbreiterung der befestigten Fläche im Vorlauf der eigentlichen Baumaßnahme

Wird vor dem zeitlichen Beginn der eigentlichen Baumaßnahme die befestigte Breite der Richtungsfahrbahn auf mindestens 12,0 m vergrößert, kann die verbreiterte Richtungsfahrbahn im Zuge der eigentlichen Baumaßnahme eine Behelfsverkehrsführung 4s+0 mit einer Fahrtrichtungstrennung durch transportable Schutzeinrichtungen aufnehmen. Eine solche Verbreiterung kann durch Inanspruchnahme von Flächen des Mittelstreifens oder von Flächen im Bereich des Bankettes erfolgen. Dies setzt voraus, dass diese Flächen zur Verfügung stehen und eine solche Verbreiterung auf diesen Flächen technisch und wirtschaftlich möglich ist. Probleme können sich hierbei aus der Topographie (z. B. unterschiedliche Höhenlage der beiden Richtungsfahrbahnen), der Entwässerung (z. B. Lage und Zugänglichkeit der Mittelstreifenentwässerung), Bauwerken im Mittelstreifen (Brückenpfeiler, Pfeiler von Schilderbrücken, etc.), Bauwerken und Verkehrseinrichtungen am Fahrbahnrand (Brückenwiderlager, Stützwände) ergeben. Ferner ist eine solche Verbreiterung im Bereich von Bauwerken mit zum Teil hohen Kosten verbunden. Brückenbauwerke mit einer zu geringen befestigten Breite können entweder nicht oder nur mit hohem technischen und finanziellen Aufwand verbreitert werden. Gegebenenfalls müssten sie im Vorfeld der Baumaßnahme, mit entsprechend größerer Breite, neu gebaut werden. Neben diesen zahlreichen Einschränkungen der Anwendbarkeit dieses Lösungsansatzes muss infolge der Fahrbahnverbreiterung mit zusätzlichen Baukosten gerechnet werden. Ferner muss während der Baumaßnahme zur Fahrbahnverbreiterung eine weitere Behelfsverkehrsführung, in der Regel als 2+2 bzw. 2+2n Verkehrsführung, eingerichtet werden. Neben den Kosten für Einrichtung und Betrieb der Behelfsverkehrsführung resultieren aus ihr zusätzliche Behinderungen des Verkehrsablaufes sowie möglicherweise zusätzliche Verkehrsunfälle. Der Nutzen einer vorherge-

henden Verbreiterung liegt darin, bei der eigentlichen Baumaßnahme eine Verkehrsführung 4s+0 mit Fahrtrichtungstrennung durch transportable Schutzeinrichtungen einrichten zu können. Gegenüber einer anderen Verkehrsführung bzw. einem anderen Trennungssystem können sich hierdurch bezogen auf die eigentliche Baumaßnahme Vorteile im Bauablauf (z. B. kürzere Bauzeiten, niedrigere Baukosten, eine erweiterte Wahl der Bauweisen) und Vorteile hinsichtlich der Verkehrssicherheit ergeben.

Somit können je nach gewähltem Lösungsansatz die in Tabelle 2-8 beschriebenen Kombinationen aus Verkehrsführung und Trennungssystem an zweibahnigen Straßen mit einer Breite der befestigten Fläche von 10,00 m bis 12,00 m eingesetzt werden (Systemskizzen siehe Anlage 1). Auf eine Variante mit einer Verkehrsführung 2+0 wurde hierbei verzichtet, da für die betrachteten Breiten immer auch eine Verkehrsführung 3s+0 möglich ist, bei der nur in einer Fahrtrichtung die Zahl der Fahrstreifen reduziert werden muss.

Es gilt diese, in der Praxis eingesetzten Varianten, hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile zu bewerten und miteinander zu vergleichen.

| Lösungsansatz | Mindestbreite der befestigten Fläche | Verkehrsführung | Trennungssystem |
|---------------|--------------------------------------|---|---------------------------------|
| b) | 9,50 m | 3s+0 | Transportable Schutzeinrichtung |
| b) | 9,50 m | 3s+1 | Transportable Schutzeinrichtung |
| a) | 11,50 m | 4s+0 | Markierung |
| c) | 11,50 m | 4s+0 (Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten) | Transportable Schutzeinrichtung |
| d) | 12,00 m | 4s+0 (Fahrstreifenbreiten gemäß RSA) | Transportable Schutzeinrichtung |

Tabelle 2-8: Betrachtete Varianten aus Verkehrsführung und Trennungssystem

2.3 Volkswirtschaftliche Bewertung von Straßen

2.3.1 Bewertungsverfahren

Bewertungsverfahren lassen sich grob in drei Schritte untergliedern:

- a) Festlegung eines Zielsystems
Bei der Bewertung von Straßeninfrastruktur werden in der Regel Zielsysteme eingesetzt, deren Ziele meist aus den Bereichen
 - Verkehrsablauf/Verkehrsqualität,
 - Verkehrssicherheit,
 - Umwelt-/Umfeldverträglichkeit und
 - Wirtschaftlichkeit/Kosten

kommen. Ziele können beispielsweise die Verbesserung des Verkehrsablaufes, die Erhöhung der Verkehrssicherheit oder die Minimierung der straßenbaulast-trägerseitigen Kosten sein.

- b) Definition von Indikatoren anhand derer die Erreichung der Ziele bewertet werden kann. Um festzustellen, in welchem Maße bestimmte Varianten die vorge-nannten Ziele erreichen, müssen Indikatoren festgelegt werden, anhand derer sich der Grad der Zielerreichung „messen“ lässt. Als Indikatoren werden bei-spielsweise häufig Reisezeiten (Indikator für den Verkehrsablauf), Unfallkosten (Indikator für die Verkehrssicherheit), Emissionen (Indikator für die Umweltver-träglichkeit) und Investitionskosten (Indikator für die Kosten) verwendet. Je nach Aufgabenstellung und Zielsystem können auch weitere bzw. andere Indikatoren verwendet werden.
- c) Synthese der Bewertungen der einzelnen Indikatoren zu einem Gesamtergeb-nis. Als letzter Schritt erfolgt die Zusammenführung der einzelnen Werte der In-dikatoren zu einem Gesamtergebnis. Dabei stellt sich als problematisch dar, dass die Indikatoren in der Regel unterschiedliche Einheiten aufweisen. Aufga-be der Synthese ist daher, zunächst aus den Werten der Indikatoren Werte ab-zuleiten, die direkt miteinander vergleichbar sind und im Hinblick auf eine Ge-samtbewertung der Varianten zusammengefasst werden können. Dies kann z. B. über eine Punkteskala oder wie häufig im Bereich des Verkehrswesens an-gewandt, über eine Monetarisierung, d. h. eine Bewertung der Indikatoren in Geldeinheiten, erfolgen. Über die so erzielten Gesamtbewertungen der einzel-nen Varianten kann nun der direkte Variantenvergleich erfolgen.

Zur Bewertung von Straßeninfrastrukturmaßnahmen haben sich in der Praxis weit-gehend monetär ausgerichtete Verfahren der Kosten-Nutzen-Analyse durchgesetzt. Diese ökonomischen Verfahren sind jedoch nicht unumstritten, da sich die Bewer-tung von Nutzen in Geldeinheiten zum Teil schwierig darstellt und es daher für den Einzelnen (Nutzer oder Betrachter des Verfahrens) zu Problemen mit der Nachvoll-ziehbarkeit der Bewertungsansätze kommen kann. Hinzu kommt, dass sich einige Aspekte, wie z. B. der Einfluss einer Baumaßnahme auf Stadt- und Landschaftsbild oder Flora und Fauna, nicht vollständig oder nur sehr umständlich quantifizieren und monetarisieren lassen.

Alternative Verfahren wie Kosten-Wirksamkeitsanalyse oder Nutzwertanalyse weisen zwar nicht die Probleme bei der Monetarisierung der Nutzen auf, gleichwohl müssen auch hier die Nutzen quantifiziert und für die Vergleichbarkeit skaliert bzw. gewichtet werden. Hierdurch ist die große Gefahr gegeben, dass die Bewertungsergebnisse stark subjektiv beeinflusst werden können.

Zur Bewertung von Verkehrsinfrastrukturprojekten werden in Deutschland im We-sentlichen zwei gesamtwirtschaftliche Bewertungsverfahren eingesetzt. Zum einen ist dies das Verfahren der gesamtwirtschaftlichen Bewertung erwogener Verkehrswege-investitionen für den Verkehrsinfrastrukturbereich insgesamt („BVWP-Verfahren“)

[BMVBW 2003] und zum zweiten sind dies die „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen EWS – EWS 1997“ [FGSV 1997]. Beide Verfahren sind im Grundsatz monetär ausgerichtet und ermöglichen eine Kosten-Nutzen-Analyse für Straßeninfrastrukturinvestitionen. In beiden Verfahren wird das Bewertungsergebnis als Nutzen-Kosten-Verhältnis dargestellt. Dabei werden die aus der betrachteten Maßnahme resultierenden Projektwirkungen ins Verhältnis zu den eingesetzten Investitionskosten und den resultierenden laufenden Kosten gesetzt. Während das Verfahren nach BVWP [BMVBW 2003] vornehmlich geeignet sein muss, überregionale, großräumig wirksame Maßnahmen (wie z. B. dem Autobahnneubau) zu bewerten und aufzuzeigen ob durch die Maßnahme zentrale politische und gesellschaftliche Ziele erreicht werden können, eignet sich das Verfahren nach EWS 1997 [FGSV 1997] insbesondere auch für die Untersuchung relativ kleinräumiger Maßnahmen (wie z. B. der Knotenpunktumgestaltung) und die Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen (vgl. HÜLSEMANN 2000). Während sich mit dem Verfahren nach EWS originär nur Straßeninfrastrukturmaßnahmen bewerten lassen, können mit dem BVWP-Verfahren [BMVBW 2003] auch Investitionen der Verkehrsträger Wasser und Schiene bewertet werden.

Ein weiterer Unterschied beider Verfahren besteht darin, dass beim BVWP-Verfahren [BMVBW 2003] im Gegensatz zu den EWS [FGSV 1997] nicht ausschließlich monetär bewertbare Komponenten in die Gesamtbewertung einfließen, sondern mit Komponenten wie Raumwirksamkeitsanalyse (RWA) oder Umweltrisikoeinschätzung (URE) auch Komponenten die nicht monetär bewertet werden. Beide Verfahren unterscheiden sich darüber hinaus auch darin, wie die bei der Berechnung anzusetzenden Verkehrsstärken ermittelt werden. Hier greift das Verfahren nach BVWP [BMVBW 2003] auf Tagesganglinien zurück, während die EWS [FGSV 1997] vereinfachend mit k-Faktoren auf Basis von Dauerganglinien arbeitet.

2.3.2 Relevante verkehrliche Einflussfaktoren

Welche verkehrlichen Faktoren bei Bewertungsverfahren relevant sind, soll beispielhaft am Verfahren der EWS 1997 [FGSV 1997] aufgezeigt werden. Neben den Investitionskosten und laufenden Kosten, aus deren Veränderung sich Nutzen ergeben können, werden folgende Komponenten bewertet:

- Betriebskosten
- Fahrzeiten
- Unfallgeschehen
- Lärmbelastung
- Schadstoffbelastung
- Klimabelastung
- Trennwirkung gegenüber Fußgänger-Überquerung

- Flächenverfügbarkeit für Fußgänger und Radfahrer.

Betrachtet man die Ansätze, nach denen diese Nutzenkomponenten nach EWS 1997 [FGSV 1997] quantifiziert werden, zeigt sich, dass folgende verkehrliche Randbedingungen die Nutzenkomponenten beeinflussen:

- Verkehrsstärke
- Verkehrszusammensetzung, Anteile einzelner Fahrzeuggruppen an der Gesamtverkehrsstärke
- Fahrzeuggeschwindigkeiten (in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke und der Fahrzeuggruppe)
- Unfallkostenrate

Die Komponenten Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung können durch eine Änderung der Verkehrsmittel- und der Routenwahl beeinflusst werden. Im Falle der hier betrachteten unterschiedlichen Verkehrsführungen bei Arbeitsstellen längerer Dauer kann eine Änderung der Verkehrsmittelwahl als auch eine Änderung in der Verkehrserzeugung nahezu ausgeschlossen werden. Durch eine Änderung der Verkehrsführung im Arbeitsstellenfall kann eine Verlagerung, insbesondere wenn die Verkehrsstärke im Bereich der Arbeitsstelle die Kapazität erreicht, nicht ausgeschlossen werden. Eine solche Verlagerung hängt jedoch von der Struktur des Straßennetzes im Bereich der Arbeitsstelle ab. Eine wesentliche Verkehrsverlagerung kann nur stattfinden, wenn sich durch die Veränderung der Fahrtroute, also ein Umfahren der Arbeitsstelle, Fahrzeitverkürzungen ergeben. Eine solche Verlagerung lässt sich in ihrem Umfang für eine übergreifende, also nicht einzelfallbezogene, Betrachtung nicht allgemeingültig abschätzen. Die aktuelle Arbeit von WALTHER et. al. (2007) hat für den Fall von Unterhaltungsmaßnahmen an Brückenbauwerken im Zuge von Bundesautobahnen gezeigt, wie eine solche Abschätzung der Wirkungen erfolgen kann. Hierbei wurde auch deutlich, dass eine weitgehend automatisierte Berechnung der Wirkungen von Arbeitsstellen im gesamten Autobahnnetz zur Zeit nicht möglich ist, da Daten von Alternativrouten (Umleitungsstrecken) nicht in einer Form vorliegen, die eine automatisierte Berechnung ermöglicht.

Daher wird im Folgenden davon ausgegangen, dass durch die unterschiedlichen Verkehrsführungen keine Änderung der Routenwahl bewirkt wird. Somit werden weder Verkehrsstärke noch Verkehrszusammensetzung durch die unterschiedlichen Varianten beeinflusst.

Gleichwohl zeigt sich an dieser Stelle die Grenze des Verfahrens, da mögliche Verlagerungswirkungen vernachlässigt werden. Solche Verlagerungen sind insbesondere dann zu erwarten, wenn die Verkehrsstärken so hoch sind, dass es mit hoher Wahrscheinlichkeit häufig zu überlastungsbedingten Stauerscheinungen kommt. In diesen Fällen ist eine Einzelfallbetrachtung, insbesondere unter Berücksichtigung der betroffenen Netzstruktur, notwendig (vgl. WALTHER et. al. [2007]). Hierbei sind dann auch die verlagerungsbedingten Wirkungen auf das nachrangige Netz, wie Stau,

Lärm, Emissionen, Unfallkosten etc. zu ermitteln und in die Bewertung mit einzubinden.

Als relevante verkehrliche Einflussgrößen, durch welche die Nutzenkomponenten beeinflusst werden, bleiben somit für die hier zu betrachtenden Fälle die Fahrzeuggeschwindigkeiten und die Unfallkostenrate.

2.4 Wirkungszusammenhänge

Aus den in Kapitel 2.2.4 dargestellten Lösungsansätzen wird deutlich, dass in der Praxis an vier Parametern Änderungen vorgenommen werden, um vorhandene Fahrbahnbreite und Behelfsverkehrsführung aufeinander abzustimmen. Diese vier Parameter werden im Folgenden als Eingangsgrößen bezeichnet. Hierbei handelt es sich um:

- Fahrbahnbreite / Breite der befestigten Fläche
- Verkehrsführung
- Fahrstreifenbreiten
- Art des Trennungssystems

Änderungen an diesen Eingangsgrößen wirken sich auf weitere Größen aus, hierbei handelt es sich insbesondere um:

- Baukosten
- Kosten für die Behelfsverkehrsführungen
- Arbeitsstellendauer
- Verkehrsablauf
- Verkehrssicherheit

Änderungen dieser Größen wirken sich jedoch auch auf die Indikatoren des Bewertungsverfahrens aus. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass die Wahl der Verkehrsführung Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und somit auch Auswirkungen auf den Indikator Reisezeit hat.

Aus der vorhandenen Breite der befestigten Fläche ergibt sich, welche Verkehrsführung und welches System zur Fahrtrichtungstrennung eingesetzt werden kann. Die Wahl von Verkehrsführung und Trennungssystem beeinflusst aber wiederum die laufenden Kosten (Kosten für Aufbau, Abbau und Betrieb/Wartung der Beschilderung, der Leit- und Schutzeinrichtungen), den Verkehrsablauf (Geschwindigkeiten, Überholmöglichkeiten, Kapazitäten) und die Verkehrssicherheit. Je nach gewählter Verkehrsführung können sich aber auch die Investitionskosten und die Bauzeit ändern. So ist davon auszugehen, dass sich bei einer nicht vollständigen Sperrung der Richtungsfahrbahn die Bauzeit verlängert und die Kosten für die Baumaßnahme steigen. Die bestehenden Wirkungszusammenhänge sind im Detail dem im Anhang, Anlage 1 dargestellte Wirkungsgefüge sowie den Erläuterungen im Anhang, Anlage 2 zu entnehmen.

Die vorhandenen Erkenntnisse zu den Wirkungen von Behelfsverkehrsführungen und Trennungssystemen auf die für das Bewertungsverfahren wichtigen Einflussfaktoren Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit sind im nachfolgenden Kapitel zusammengestellt.

2.5 Bestehende Erkenntnisse zu den Wirkungen von Behelfsverkehrsführungen auf Verkehrsablauf, Fahrerverhalten und Verkehrssicherheit

2.5.1 Verkehrsablauf

Generell sollen Verkehrsbehinderungen durch Arbeitsstellen möglichst gering gehalten werden, hierzu soll eine strategische Baustellenplanung erfolgen. Das heißt, dass mehrere Arbeitsstellen auf einem Streckenabschnitt miteinander abgestimmt werden und bauliche Maßnahmen mit langer Lebensdauer gewählt werden, so dass lange Erneuerungs- und Instandsetzungsintervalle entstehen. Maßnahmen die der Baustellenkoordination dienen und Verfahren zur Abschätzung der verkehrlichen Auswirkungen von Arbeitsstellen längerer Dauer werden in den „Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen – RBAP 1996“ [BMVBW 1996] beschrieben. In dem Regelwerk wird unter anderem festgelegt, dass:

- die in den RSA-95 [BMVBW 1995] enthaltenen Bestimmungen und Verkehrsführung anzuwenden sind,
- die Fahrstreifenanzahl nur in bestimmten Ausnahmefällen verringert werden kann, mit Hinweis auf die Regelungen der RSA-95 [BMVBW 1995],
- eine Baustellenlänge von maximal etwa 6 km anzustreben ist,
- die hohe Konzentrationsbeanspruchung der Verkehrsteilnehmer im Baustellenbereich bei der Festlegung der Verkehrsführung berücksichtigt werden muss,
- die Breite der Behelfsfahrstreifen und die maximal zulässige Baustellenlänge daher gemäß den Angaben der RSA-95 [BMVBW 1995] aufeinander abzustimmen sind.

Durch das in den RBAP [BMVBW 1996a] angegebene Verfahren zur Abschätzung der verkehrlichen Auswirkungen soll vor Beginn der Baumaßnahme ermittelt werden, ob und in welchem Grade mit Verkehrsbehinderungen durch die Arbeitsstelle zu rechnen ist. Werden durch die Abschätzung hohe Defizite beim Vergleich von vorhandener Verkehrsstärke auf dem untersuchten Streckenabschnitt und der Kapazität der Behelfsverkehrsführung ermittelt, schlagen die RBAP [BMVBW 1996a] folgende Gegenmaßnahmen vor:

- Verlagerung der Bauarbeiten in verkehrsärmere Zeiträume
- Ausnutzung aller wirtschaftlich vertretbaren Möglichkeiten zur Bauzeitverkürzung
- Umleitungsempfehlungen

Die Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen erfolgt durch einen Vergleich der Verkehrsnachfrage in der Spitzenstunde und der Kapazität des Engpasses vor der Arbeitsstelle. Die Differenz dieser beiden Größe (S_{Diff}) stellt einen Indikator für die verkehrlichen Auswirkungen der Arbeitsstelle dar. Eine Berechnung bzw. Abschätzung von Zeitverlusten oder Staulängen ist mit dem Verfahren nach RBAP [BMVBW 1996a] nicht möglich. Vielmehr erfolgt anhand der Größe von S_{Diff} eine Klassifizierung und darauf aufbauend eine verbale Beschreibung der verkehrlichen Auswirkungen sowie die Angabe von Maßnahmen (siehe Tabelle 2-9).

| $S_{Diff} = V.nachfrage - Kapazität$ | verkehrliche Auswirkungen | Maßnahmen |
|---|-------------------------------|--|
| $S_{Diff} \leq - 100 \text{ Pkw-E/Spitzenstunde}$ | keine Verkehrsbehinderungen | Maßnahmen nicht unbedingt erforderlich |
| $-100 < S_{Diff} \leq 200 \text{ Pkw-E/Sp.-h}$ | geringe Verkehrsbehinderungen | Medien-Information |
| $S_{Diff} > 200 \text{ Pkw-E/Sp.-h}$ | starke Verkehrsbehinderungen | Medien Information, Baustellen-Informationsschild aufstellen und ggf. weitere Maßnahmen nach RBAP 2.2 Satz (3) a-c |

Tabelle 2-9: Beurteilung von S_{Diff} im Hinblick auf die verkehrlichen Auswirkungen und die zu treffenden Maßnahmen, nach: RBAP 1996 [BMVBW 1996a]

Die Ermittlung der Kapazität des Baustellenengpasses erfolgt dabei anhand von Richtwerten, die für einen einzelnen Fahrstreifen in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite angegeben werden. Ausgehend von einem Grundwert werden durch Abminderungsfaktoren weitere für die Kapazität relevante Faktoren berücksichtigt. Im Einzelnen sind dies:

- Überleitung auf die Gegenfahrbahn, Faktor 0,95
- Fahrstreifenreduktion vor der Baustelle, Faktor 0,95
- Ortsunkundige, Anteil des berufsbedingten Verkehrs von weniger als 50 %, Faktor 0,90

Diese Faktoren können miteinander kombiniert werden, so dass sich beispielsweise bei Auftreten aller drei Faktoren ein Reduktionsfaktor von $0,95 * 0,95 * 0,9 = 0,812$ ergibt.

Die Grundwerte der Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens werden in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite mit 1830 Pkw-E/h bzw. 1720 Pkw-E/h angegeben (siehe Tabelle 2-10). Diese Grundwerte basieren auf der Annahme einer Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens außerhalb einer Baustelle von 2000 Kfz/h, bei einem Schwerverkehrsanteil von 15 % [KELLERMANN 1997].

| | Reduktionsfaktor | $b_{FS, Lkw} \geq 3,25 \text{ m}$ oder $b_{FS, Pkw} \geq 2,75 \text{ m}$ | $b_{FS, Lkw} < 3,25 \text{ m}$ oder $b_{FS, Pkw} < 2,75 \text{ m}$ |
|---|------------------|--|---|
| | | LFS [Pkw-E/h] | LFS [Pkw-E/h] |
| Grundwert | 1 | 1830 | 1720 |
| Überleitung auf die Gegenfahrbahn (ÜL) | 0,95 | 1740 | 1630 |
| Reduktion der Fahrstreifenanzahl von der Baustelle (RFS) | 0,95 | 1740 | 1630 |
| Ortsunkundige, Anteil berufsbedingter Verkehr < 50 % (OU) | 0,9 | 1640 | 1550 |
| ÜL und RFS | 0,903 | 1650 | 1550 |
| ÜL und OU | 0,855 | 1560 | 1470 |
| RFS und OU | 0,855 | 1560 | 1470 |
| ÜL und RFS und OU | 0,812 | 1480 | 1400 |

Tabelle 2-10: Grundwerte und Reduktionsfaktoren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit LFS eines Fahrstreifens an Baustellenengpässen (nach: RBAP 1996a)

Rechnet man die Fahrzeuge des Schwerverkehrs mit dem Faktor 1,5 in Pkw-Einheiten um, erhält man eine Fahrstreifenkapazität von 2150 Pkw-E/h. Diese wird im Bereich von Arbeitsstellen abgemindert und zwar für Fahrstreifen mit einer Breite von weniger als 2,75 m für Pkw bzw. weniger als 3,25 m für Lkw auf 80% des o.g. Wertes und für Fahrstreifen mit mindestens 2,75 m für Pkw oder mindestens 3,25 m für Lkw auf 85 % des o.g. Wertes. Diese Abminderungsfaktoren wurden nach KELLERMANN (1997) anhand der empirischen Befunde der Forschungsarbeiten von RESSEL (1994) und LAFFONT/SCHMIDT (1995) sowie MANGOLD/ TRÄGER/LINDENBACH (1996) festgelegt.

Nach Kombination mit den Abminderungsfaktoren ergeben sich somit Fahrstreifenkapazitäten von 1400 Pkw-E/h bis zu 1830 Pkw-E/h (siehe Tabelle 2-10).

Für die am häufigsten eingesetzten Verkehrsführungen 4s+0 und 3s+1 ergeben sich hieraus Kapazitäten je Fahrtrichtung von 2800 bis 3660 Pkw-E/h (4s+0), 2870 bis 3660 Pkw-E/h (3s+1) und für die Verkehrsführung 3s+0 zwischen 1400 und 1650 Pkw-E/h.

Aus der Untersuchung von RESSEL (1994) zu Entstehung, Entwicklung und Auflösung von Staus im Bereich von Arbeitsstellen an Bundesautobahnen ergab sich, dass die Stauwurzel bei Verkehrsführungen ohne Spursubtraktion im Bereich des Übergangs von der freien Strecke in die Engstelle und bei Baustellen mit Fahrstreifenreduktion ca. 300m bis 1000m vor der Baustelle liegt. Aus Bruttozeitlücken für verschiedene Fahrzeugfolgen ermittelte RESSEL (1994) ferner Kapazitätswerte (siehe Tabelle 2-11).

| Maximale Verkehrsstärke des Baustellenengpasses $Q_{\max,B}$ [Kfz/h] | | | | |
|--|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Verkehrsführung | Güterverkehrsanteil - GVA [%] | | | |
| | 0 | 10 | 20 | 30 |
| 2streifige Richtungsfahrbahn | | | | |
| VF 2+1 | 1.460 | 1.320 | 1.245 | 1.175 |
| VF 3+1 | 2.920 | 2.780 | 2.635 | 2.495 |
| VF 4+0 | 2.830 | 2.670 | 2.520 | 2.380 |
| 3streifige Richtungsfahrbahn | | | | |
| VF 3+2 | 3.190 | 3.035 | 2.875 | 2.725 |
| VF 5+0 | 2.880 | 2.725 | 2.565 | 2.410 |

Tabelle 2-11 : Maximale Verkehrsstärken im Bereich von Autobahnarbeitsstellen, RESSEL (1994)

Im Handbuch zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS 2001 [FGSV 2001 b] wird die Kapazität einer Fahrtrichtung im Bereich einer 4+0 bzw. 3+1 Verkehrsführung mit 3.300 Kfz/h angegeben.

Die Kapazität von Baustellenverkehrsführungen beziffert WEINSPACH (1988) bei zwei durchgehenden Behelfsfahrstreifen auf 2700 Kfz/h, bei einem Behelfsfahrstreifen auf 1300 Kfz/h. Bei einer Verminderung der mittleren Geschwindigkeit um 20% gibt er in Anlehnung an OECD (1973) eine Minderung der Kapazität von 10% an.

KOCKELKE/ROSSBANDER (1988) stellten fest, dass in den Baustelleninnenbereichen die mittleren Geschwindigkeiten gegenüber der ersten Überleitung um etwa 9km/h anstiegen. Bei zulässigen 60 km/h wurden im Innenbereich Mittelwerte der Geschwindigkeit von 71 – 81 km/h gemessen, bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80km/h lagen die Mittelwerte der Fahrzeuggeschwindigkeiten bei 85 – 93km/h. Die niedrigsten Geschwindigkeiten wurden nach KOCKELKE/ROSSBANDER (1988) bei den „Baustellen mit direktem Gegenverkehr und schmalen Fahrstreifen gefahren“. Ferner nimmt der Fahrzeugabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug im Laufe der Baustellendurchfahrt allgemein ab, der Fahrzeugstrom „schiebt sich zusammen“, die Dichte nimmt zu. Die Anzahl der Fahrstreifenwechsel ist laut KOCKELKE/ROSSBANDER (1988) im Innenbereich geringer als im Annäherungs- oder Zulaufbereich der Baustelle. Bei den durchfahrenen 4+0 Verkehrsführungen war eine „Tendenz zu erkennen, den einmal gewählten Fahrstreifen beizubehalten“.

BECKER/SCHMUCK (1983) stellten fest, dass die zulässigen Geschwindigkeiten sowohl bei $v_{zul} = 60$ km/h als auch bei $v_{zul} = 80$ km/h bei den Verkehrsführungen 4+0 und 3+1 zum Teil deutlich überschritten werden (siehe Tab. 2-12).

Die Wertepaare Verkehrsstärke – mittlere lokale Geschwindigkeit wurden grafisch den q-v-Beziehungen der RAS-W 1981 [FGSV 1981] gegenübergestellt (siehe Bild 2-20). Dabei stellten BECKER/SCHMUCK fest, dass die für Baustellenbereiche ermittelten q-v-Funktionen gegenüber den Angaben der RAS-W 1981 [FGSV 1981] für die freie Strecke (ohne Baustelle) annähernd parallel nach unten geschoben sind.

| | 4s+0 | | 3s+1 baustellenabgewandt | | 3s+1 baustellenzugewandt | |
|-----------|---------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| V_{zul} | P | GV | P | GV | P | GV |
| 60 km/h | 76 km/h | 65 km/h | 76 km/h | 65 km/h | 70 km/h | 65 km/h |
| 80 km/h | 84 km/h | 76 km/h | --- | --- | --- | --- |

Tabelle 2-12: mittlere Fahrzeuggeschwindigkeiten im Bereich von Autobahnarbeitsstellen, nach BECKER/SCHMUCK (1983) P – Fahrzeuggruppe P: Pkw, Kombi, Krad GV – Fahrzeuggruppe GV: Lkw, Busse, Lieferwagen, Sattelzüge, Sonderfahrzeuge

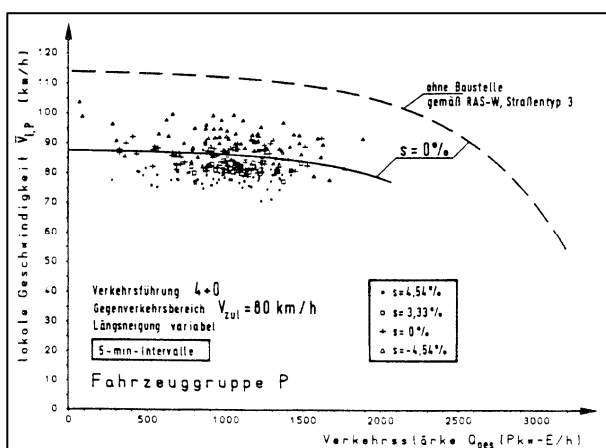


Bild 2-20: Mittlere lokale Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke (entnommen: BECKER/SCHMUCK 1983)

Ein Einfluss der Längsneigung auf die mittlere Geschwindigkeit konnte nachgewiesen werden, ist aber für Pkw nicht so ausgeprägt wie für Lkw. Im Hinblick auf die Fahrstreifenbelegung in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke stellten BECKER/SCHMUCK (1983) fest, dass bei einer Verkehrsstärke von etwa 1250 Kfz/h und einer Verkehrsführung 4+0 eine gleichmäßige Verteilung der Fahrzeuge auf beide Fahrstreifen vorliegt. Gleiches gilt für die baustellenabgewandte Richtung einer 3+1 Verkehrsführung.

rung. Bei geringeren Verkehrsstärken wird der rechte Fahrstreifen stärker belegt. Die Kapazität von Baustellenverkehrsführungen mit zwei durchgehenden Behelfsfahrstreifen je Fahrtrichtung liegt nach BECKER/SCHMUCK (1983) bei etwa 2750 Fz/h. Bei breiteren Behelfsfahrstreifen benennen BECKER/SCHMUCK (1983) eine maximale Verkehrsstärke von 3200 Fz/h.

KRUX/DETERMANN (1995) stellen bei der Untersuchung der Verkehrsregelung und der baulichen Gestaltung der Zulauf- und Überleitungsbereiche der Arbeitsstelle fest, dass bis zu einer Reduktion der Fahrstreifenbreite auf 2,50 m eine Geschwindigkeitsreduktion erreicht wurde. Es wird die Empfehlung gegeben, die Breite des Überholfahrstreifens nicht unter das Maß von 2,50 m einzuengen.

LAUBE (2001) weist bezüglich des Fahrerverhaltens auf eine Untersuchung des Instituts für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau der ETH Zürich und der Kantonspolizei Zürich hin, in der festgestellt wurde, dass mit zunehmender Verkehrsstärke der Anteil der Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen auf bis zu 60% des Gesamtverkehrs ansteigt.

Von HANKO (1995) durchgeführte Videobeobachtungen zeigen, dass Pkw-Fahrer oftmals Schwierigkeiten haben, im Bereich schmaler Behelfsfahrstreifen Lastkraftwagen oder Lastzüge zu überholen. Dabei sind die Pkw-Fahrer oftmals jedoch nicht bereit, den Überholvorgang abubrechen und hinter den Lkw auf die rechte Fahrspur zu wechseln.

2.5.2 Spurverhalten von Kraftfahrzeugen

Zur Verteilung und Wahl der Fahrlinien bzw. Fahrzeugpositionen im Fahrstreifen wurden bislang verschiedene in- und ausländische Untersuchungen durchgeführt. Ausgangspunkt der Untersuchungen waren meist verkehrs- bzw. entwurfstechnische Fragestellungen.

Der prinzipielle Zusammenhang zwischen Fahrstreifenbreite und seitlichem Spurverhalten wurde bereits mehrfach nachgewiesen, vgl. BURGER (1977), KNOFLACHER/GATTERER (1981) und LENZ/BURGER (1975).

LENZ/BURGER (1975) ermittelten auf einer einbahnig-zweistreifigen Landstraße in Deutschland mit einer Fahrstreifenbreite von 3,50m die Positionen einzelner Fahrzeuge im Querschnitt. Dabei wurden unter anderem die Einflüsse der Geschwindigkeit, des Gegenverkehrs und der Fahrzeugspurbreite analysiert. LENZ/BURGER (1975) stellten fest, dass sich bei Fahrzeuggeschwindigkeiten < 100 km/h und keinen entgegenkommenden Fahrzeugen die Fahrzeugachse im Mittel in Fahrstreifenmitte befindet wobei eine leichte Tendenz nach rechts festzustellen war. Die Standardabweichung nahm mit zunehmender Geschwindigkeit ab und lag im Geschwindigkeitsbereich 75 bis 100 km/h in Bezug auf den Mittelwert der Fahrzeugmittelachse bei 33

cm. Wurden die gemessenen Fahrzeugen durch entgegenkommende Fahrzeuge beeinflusst, wurde im Mittel 15 cm weiter rechts gefahren. Beim Vergleich der durch Gegenverkehr unbeeinflussten und beeinflussten Fahrzeuge wurde ferner festgestellt, dass die Standardabweichung ($s = 32$ cm bzw. 29 cm) nahezu gleich bleibt. In Bezug auf die Breite der Fahrzeuge, konnte in der Untersuchung festgestellt werden, dass die Position der Fahrzeugachse (Fahrzeugmitte) von der Breite der Spur der Fahrzeuge nicht beeinflusst wird. Allerdings wurde bei breiteren Fahrzeugen eine geringere Standardabweichung der Mittelwerte festgestellt.

In einer ergänzenden Untersuchung wurden durch BURGER (1977) die Einflüsse der Fahrstreifenbreite betrachtet. Hierbei wurde festgestellt, dass mit zunehmender Fahrstreifenbreite tendenziell weiter rechts gefahren wird. BURGER schätzt Querschnitte mit einer Fahrstreifenbreite von 3,15 m hinsichtlich der Fahrzeugpositionen als weniger sicher ein, als Querschnitte mit Fahrstreifenbreiten von 3,50 bis 4,15 m.

Im Bezug auf das Spurverhalten konnte von LEUTZBACH/MAIER/DÖHLER (1981) nachgewiesen werden, dass Fahrer auf Landstraßen ihren Abstand zu seitlichen Hindernissen, wie beispielsweise Leitplanken oder Fahrzeugen im Gegenverkehr, nach der individuell eingeschätzten Gefährlichkeit und in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit wählen. Damit konnten die Ergebnisse von BRILON/DÖHLER (1978), die einen Zusammenhang zwischen Abstand zum Fahrbahnrand und Geschwindigkeit festgestellt hatten, bestätigt werden.

KNOFLACHER/SCHRAMMEL (1976) konnten im Rahmen ihrer Untersuchungen auf einbahnig-zweistreifigen Straßen in Österreich keinen Zusammenhang zwischen der Standardabweichung der Häufigkeitsverteilung der Fahrzeugpositionen und der Fahrstreifenbreite nachweisen. Zur Beschreibung der Häufigkeitsverteilung der Fahrzeugpositionen wurde durch KNOFLACHER/SCHRAMMEL (1976) eine Laplace-Funktion gewählt, diese weist bei den durch KNOFLACHER/SCHRAMMEL (1976) erhobenen Daten im Vergleich zur Normalverteilung eine deutlich bessere Anpassung an die gemessenen Häufigkeitsverteilung auf.

SCAZZIGA (1976) führte Untersuchungen an insgesamt 20 Straßenquerschnitten mit einer Fahrstreifenbreite von 2,75 bis über 4,0 m durch. Bei den Straßen handelte es sich sowohl um einbahnig-zweistreifige Landstraßen als auch um eine Autobahn und einen Zusatzfahrstreifen (Kriechfahrstreifen). SCAZZIGA ermittelte dabei die Häufigkeit mit der ein bestimmtes 0,25m breites Querschnittssegment von einem Reifen eines Schwerverkehrsfahrzeuges überrollt wird. Er stellte dabei den Maximalwert der prozentualen Häufigkeitsverteilung q_{\max} in Beziehung zur jeweiligen Fahrstreifenbreite. Hierdurch konnte SCAZZIGA einen linearen Zusammenhang zwischen der Fahrstreifenbreite und q_{\max} dahingehend feststellen, dass mit zunehmender Fahrstreifenbreite q_{\max} abnimmt. Das heißt, dass sich bei breiteren Fahrstreifen die Überrollungshäufigkeit nicht so stark auf ein bestimmtes Querschnittssegment konzentriert, sondern sich gleichmäßiger auf den gesamten Querschnitt verteilt.

Schwerpunkt der Untersuchungen von OELLERS (1976) stellte die Bedeutung der Fahrstreifenbreite von Autobahnquerschnitten auf den Verkehrsablauf dar. Hierbei wurden durch OELLERS (1976) an 7 Messquerschnitten an zweibahnig vierstreifigen Querschnitten mit Fahrstreifenbreiten von 3,25 m, 3,50 m und 3,75m Querschnittserhebungen durchgeführt, bei denen der Verkehrsablauf fotografisch erfasst wurde. Untersucht wurde im Wesentlichen der Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die Geschwindigkeitsverteilung, die Fahrstreifenbelegung, die Fahrzeuglängsabstände und die Fahrzeugquerabstände bei Überholvorgängen. Dabei wurden neben der Fahrstreifenbreite teilweise auch die Einflüsse von Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Fahrzeugart, Fahrzeugbreite und Standstreifenanordnung berücksichtigt. Folgende wichtige Erkenntnisse lassen sich aus den Untersuchungen von OELLERS (1976) ableiten:

- Die mittleren Geschwindigkeiten der Fahrzeuge sinken mit kleineren Fahrstreifenbreiten. Bei Pkw vermindern sich die mittleren Geschwindigkeiten bei Fahrstreifen von 3,50 m bzw. 3,25 m Breite um 6 bzw. 8 km/h, bezogen auf die mittleren Geschwindigkeiten bei 3,75 m breiten Fahrstreifen. Bei Lkw tritt die Minderung der Geschwindigkeiten erst bei Fahrstreifenbreiten von 3,25 m auf. Sie beträgt im Mittel 9 km/h. (Bild 2-21)
- Die Fahrzeuggeschwindigkeiten, insbesondere die mittleren Lkw-Geschwindigkeiten, wiesen auf den Messstrecken mit 3,25 m breiten Fahrstreifen eine stärkere Abhängigkeit von der Verkehrsstärke und dem Schwerververkehrsanteil auf als bei breiteren Fahrstreifen.
- Die Belegung der Fahrstreifen gestaltet sich so, dass bei geringen Verkehrsstärken (< 150 Kfz/10min.) der linke Fahrstreifen bei kleineren Fahrstreifenbreiten stärker genutzt wurde als bei größeren Fahrstreifenbreiten. Bei Verkehrsstärken > 150 Kfz/10min. dreht sich dieses Verhältnis um. Nunmehr wird der linke Fahrstreifen bei größeren Fahrstreifenbreiten stärker genutzt als bei geringen Fahrstreifenbreiten (Bild 2-22).

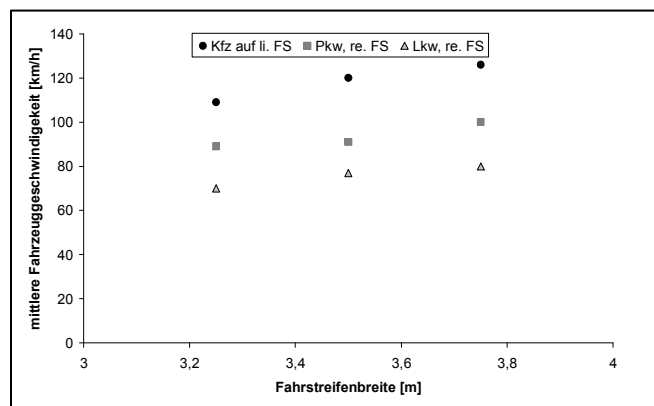


Bild 2-21: mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite (nach OELLERS 1976)

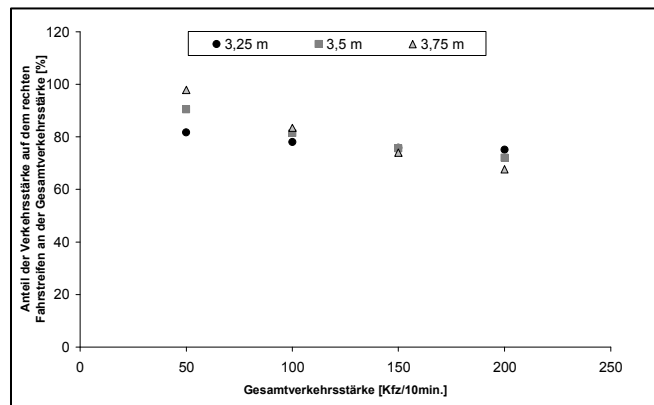


Bild 2-22: Anteil der Verkehrsstärke auf dem rechten Fahrstreifen an der Gesamtverkehrsstärke (nach OELLERS 1976)

- Fahrzeuglängsabstände von ≤ 1 sec. (Risikoabstände) wurden an Strecken mit Fahrstreifenbreiten von 3,25 m bzw. 3,50 m 3 – 4 % häufiger registriert als an Strecken mit 3,75 m breiten Fahrstreifen. (Bild 2-23)

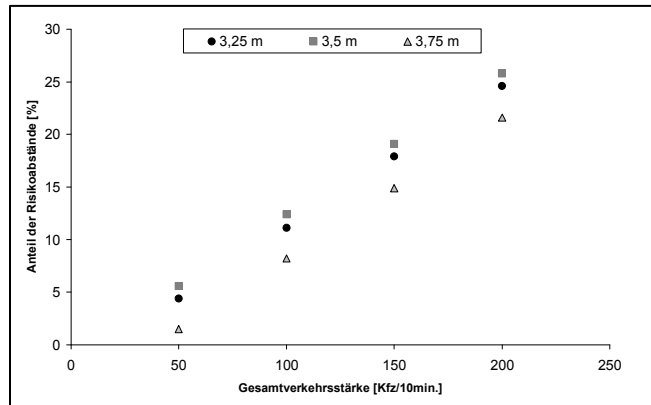


Bild 2-23: Anteil der Risikoabstände in Längsrichtung in Abhängigkeit der Gesamtverkehrsstärke und der Fahrstreifenbreite (nach OELLERS 1976)

- Bei Überholungen ist der Abstand zwischen den Fahrzeugen abhängig von der Existenz von Standstreifen, dem Fahrzeugtyp, der Fahrstreifenbreite und den Fahrzeuggeschwindigkeiten. (Bild 2-24)
- Fahrzeuge auf der Überholspur richten bei Überholvorgängen ihren Abstand zu dem überholten Fahrzeug nach dessen Abstand von der Mittellinie (Fahrstreifenbegrenzungslinie).
- Ist kein Standstreifen vorhanden, fahren Fahrzeuge auf dem rechten Fahrstreifen ca. 40 cm weiter links.
- Lkw auf dem rechten Fahrstreifen fahren ca. 20 cm näher an der Mittellinie als Pkw.

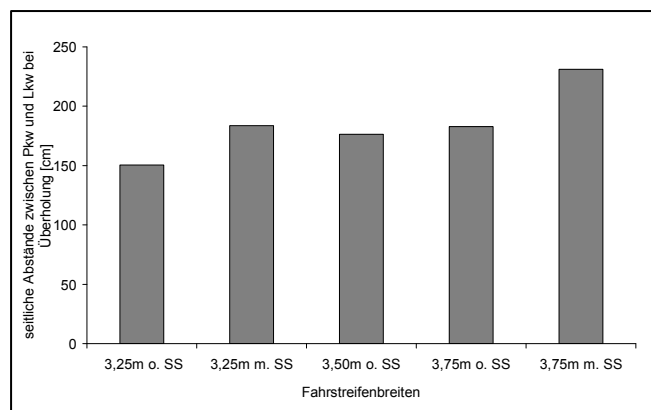


Bild 2-24: Seitliche Abstände bei Überholvorgängen zwischen Pkw und Lkw bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten (nach OELLERS 1976)

- Bei Überholvorgängen beträgt der Abstand zwischen den Fahrzeugen an Strecken mit Fahrstreifenbreiten von $\geq 3,50$ m ca. 1,80 m, ebenso an Strecken mit 3,25 m breiten Fahrstreifen und einem Standstreifen. An Strecken mit 3,25 m breiten Fahrstreifen ohne Standstreifen verringerten sich die Fahrzeugabstände bei Überholungen auf ca. 1,50 m.
- Der Abstand zwischen den Fahrzeugen resultiert zu 70 % aus dem Abstand des Überholenden zur Mittellinie.
- Ein seitlicher Abstand zum Fahrbahnrand von 0,40 m wird nur von ca. 15 % der Fahrzeuge unterschritten.
- Maßgebend für eine Bemessung der Fahrstreifenbreite ist der Fall einer Überholung eines Lkw durch einen Pkw.
- Unter der Annahme der Fahrzeugbreiten mit Pkw = 1,80 m und Lkw = 2,50 m und einem Fahrzeugabstand von 1,80 m ergibt sich unter Berücksichtigung von einem Mindestabstand zum jeweiligen Fahrbahnrand von 0,40 m eine Mindestfahrbahnbreite von 6,90 m.
- Die durchgeführten Unfalluntersuchungen ergaben, dass an Strecken mit 3,25 m breiten Fahrstreifen über 20 % aller Unfälle auf Fehler beim Überholen zurückzuführen sind. Auf den Strecken mit 3,75 m breiten Fahrstreifen lag dieser Anteil deutlich niedriger.

- Die Unfallrate lag an Strecken mit schmalen Fahrstreifen (3,25 m) höher als an Strecken mit breiteren Fahrstreifen. (Bild 2-25)
- Die auf die Fahrleistung bezogenen Unfallkosten durch Sachschäden lassen keinen Einfluss der Fahrstreifenbreite erkennen.
- Der Anteil der Unfälle im Längsverkehr lässt keinen Einfluss der Fahrstreifenbreite erkennen.

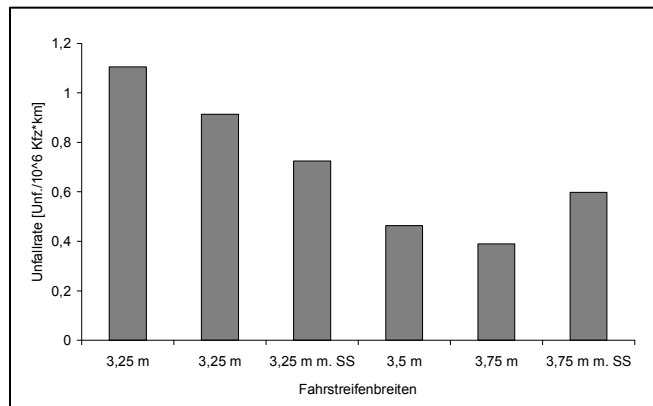


Bild 2-25: Unfallraten der 6 Messstrecken; Angabe der jeweiligen Fahrstreifenbreiten (nach OELLERS 1976)

Die Untersuchungen von OELLERS stellen sicherlich die bislang umfangreichsten Untersuchungen zum Einfluss der Fahrstreifenbreite auf Richtungsfahrbahnen auf das Fahrerverhalten dar. Allerdings ist im Hinblick auf die hier zu betrachtende Fragestellung darauf hinzuweisen, dass die Auswertungen von OELLERS nahezu 30 Jahre zurückliegen und somit z. B. hinsichtlich des untersuchten Fahrzeugkollektives nicht mehr der heutigen Realität entsprechen können. Ferner wurde von OELLERS der Verkehr auf freien Strecken, d.h. ohne Baustellenverkehrsführung untersucht, so dass weder der Einfluss von geringeren Fahrstreifenbreiten als 3,25 m noch der Einfluss einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h, wie im Arbeitsstellenbereich üblich, im Rahmen der Untersuchungen von OELLERS betrachtet wurde. Die Aussagen der Unfalluntersuchungen sind aufgrund eines teilweise geringen Datenkollektivs, z. T. nur 21 Unfälle für eine Messstrecke zu sehen und daher als teilweise nur wenig aussagekräftig einzustufen. Gleichwohl ergeben sich aus der Arbeit von OELLERS wichtige Anhaltspunkte für die vorliegende Arbeit.

Nach MITSCHKE (1995) kann der Fahrvorgang eines Fahrzeuges als ein Zwei-Ebenen-Modell dargestellt werden. Durch Straßenverlauf und Verkehrssituation wird für jeden Fahrer eine Wunschfahrlinie, bspw. die Fahrstreifenmitte, existieren. Um dieser Wunschfahrlinie nachzufahren, wird in der ersten Ebene der Lenkradeinschlag so gewählt, dass das Fahrzeug auf dieser Wunschlinie fährt. Dieser Vorgang wird als antizipatorische Steuerung bezeichnet. Das Fahrzeug wird tatsächlich aber nicht auf dieser Wunschlinie fahren, sondern die Istlinie wird eine Abweichung Δs von der Wunschfahrlinie aufweisen. Um diese Abweichung zu korrigieren wird in der zweiten Ebene, der kompensatorischen Steuerung, der Lenkradeinschlag geändert werden, um die Abweichung von der Wunschlinie zu vermindern.

Somit resultiert die jeweilige Position des Fahrzeuges im Querschnitt aus der Lage der Wunschlinie und der Größe der Abweichung Δs von der Wunschlinie.

Untersuchungen von LEUTZBACH/MAIER/DÖHLER (1981) zeigten, dass der Fahrzeugführer die Lage seiner Wunschfahrlinie in Abhängigkeit von Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrstreifenbreite und Art der seitlichen Begrenzung wählt. Auch KNOFLACHER/SCHOPF (1981) wiesen nach, dass mit größerer zur Verfügung stehender Fahrbahnbreite die Spurstabilität abnimmt, und die Verteilung der Fahrzeugpositionen im

Querschnitt stärker streut als bei geringeren Fahrstreifenbreiten. Der mittlere Abstand von der rechten Fahrzeugbegrenzung des überholenden Fahrzeuges zur Fahrstreifenbegrenzung lässt sich nach KNOFLACHER/SCHOPF demnach in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite b_f mit der Regression

$X_1 = a_0 + a_1 \cdot b_f$ (mit $a_0 = -8,87$ und $a_1 = 51,49$ für den Fall Richtungsverkehr und $a_0 = -18,06$ und $a_1 = 59,23$ für den Fall des Gegenverkehrs) beschreiben.

Die durch KNOFLACHER/SCHOPF (1981) durchgeführten Messungen ergaben außerdem Aussagen zu der Größe der Abweichung Δs von der Wunschfahrlinie. Demnach beträgt die Amplitude mit der die tatsächliche Fahrzeugposition um diese Wunschlinie pendelt etwa 26 cm (95% Percentil, d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% ist die Abweichung größer). KNOFLACHER/SCHOPF stellten dabei fest, dass auf sehr schmalen Fahrstreifen sowie bei größeren Fahrstreifenbreiten (≥ 3 m) die größten seitlichen Abweichungen auftreten, wobei die Abweichungen mit zunehmender Fahrstreifenbreite ansteigen. Ein Minimum der Abweichungen von der Wunschlinie konnte in der Untersuchung bei einer Fahrstreifenbreite von etwa 2,50 m festgestellt werden.

Offensichtlich weicht der Kraftfahrer mit abnehmender Fahrstreifenbreite, möglicherweise aufgrund einer konzentrierteren Fahrweise, weniger stark von der jeweiligen Wunschfahrlinie ab, wobei die Größe der Abweichungen ab einer Fahrstreifenbreite von etwa 2,50 m nicht mehr gesenkt werden kann.

Allerdings sind die Ergebnisse von KNOFLACHER/SCHOPF strenggenommen nicht für eine Beurteilung der Fahrvorgänge in Arbeitsstellen verwendbar, denn die Erhebungen wurden auf einem Versuchsfeld mit zwei Pkw und einem Kleintransporter als Versuchsfahrzeugen, sowie drei Versuchsfahrern durchgeführt. Die Erhebungen spiegeln somit in keiner Weise reale Verhältnisse mit einer Vielzahl von Fahrer/Fahrzeugkombinationen wieder.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass sich die Breite der Fahrstreifen auf die Belastung der Straßenkonstruktion auswirkt. So führt zu Beispiel das Fahren von Fahrzeugen des Schwerverkehrs in einer Spur bei lang andauernder (häufiger) Belastung bzw. besonders starker Belastung des Straßenoberbaus zur Bildung von Spurrinnen.

Diese Erkenntnisse spiegeln sich unter anderem auch im aktuellen Bemessungsverfahren für den Straßenoberbau (RStO 01) wieder. Hier wird die, für die Ermittlung der jeweiligen Bauklasse maßgebende Bemessungsrelevante Beanspruchung B , neben anderen Faktoren auch durch einen Fahrstreifenbreitenfaktor ermittelt. Dieser Fahrstreifenbreitenfaktor führt bei Fahrstreifenbreiten von weniger als 3,75m zu einer Erhöhung der Beanspruchung B . Dies kann gegebenenfalls zu einer Einordnung der Baumaßnahme in eine höhere Bauklasse und somit zu einem stärkeren Straßenaufbau führen.

Der Einfluss der Fahrstreifenbreite und des Spurverhaltens der Fahrzeuge auf die Belastung des Straßenoberbaus war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Es konnte unter anderem von BECKEDAHL (1987) und BLAB/LITZKA (1995) nachgewiesen werden, dass für die Belastungsermittlung des Straßenoberbaus von besonderer

Bedeutung ist, wie sich die Radüberrollungen auf den Straßenquerschnitt im Bezug auf ihre Häufigkeit verteilen. Durch die Integration der Fahrspurverteilung in Berechnungsverfahren, z. B. zur Spurrinnenbildung, konnten besonders realitätsnahe Berechnungsergebnisse erzielt werden, vgl. z. B. BECKEDAHN (1987), BLAB/LITZKA (1995). Die in den o.g. Untersuchungen betrachteten Fahrstreifen wiesen Breiten von 2,75 m bis 3,75 m auf. Diese liegen zwar hinsichtlich ihrer Größenordnung im Bereich der Fahrstreifenbreiten, die auch im Zuge von Behelfsverkehrsführungen im Arbeitsstellenbereich realisiert werden, allerdings wurden die speziellen Aspekte der Verkehrsführung im Bereich von Autobahnarbeitsstellen, insbesondere die Randbedingung von zwei Fahrstreifen mit sehr geringer Breite je Fahrtrichtung, bislang nicht betrachtet.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Untersuchungsergebnisse zur Wahl der Fahrlinien im Bereich von Autobahnarbeitsstellen, insbesondere unter Berücksichtigung des eingesetzten Trennungssystems, bislang nicht vorliegen.

2.5.3 Verkehrssicherheit in Autobahnarbeitsstellen

Ein Verkehrsunfall ist ein plötzlich auftretendes Ereignis, an dem ein oder mehrere Verkehrsteilnehmer beteiligt sind und Sach- oder Personenschaden entsteht. Meist handelt es sich dabei um Kollisionen von Fahrzeugen untereinander oder um den Anprall von Fahrzeugen an Hindernisse neben der Fahrbahn.

Entsprechend der jeweils schwersten Unfallfolge eines Unfalles wird dieser in eine von sechs Unfallkategorien eingeteilt (siehe Anhang, Anlage 3).

Wird der Polizei ein Unfall gemeldet, wird dieser nachfolgend polizeilich aufgenommen. Hierzu dient ein weitgehend standardisiertes Erfassungsformular, die Verkehrsunfallanzeige. Hierüber werden in der Regel zumindest die Unfälle der Kategorien 1-4 und 6 erfasst. Die Verkehrsunfallanzeige enthält im Wesentlichen folgende Angaben:

- Unfalldatum, Unfallzeit
- Unfallbeteiligte
- Unfallfolgen
- Unfallort
- Beschreibung des Unfallherganges, ggfs. Skizze
- Unfallart
- Unfalltyp
- Unfallursache
- Charakteristik und Besonderheiten der Unfallstelle
- Angaben zu Lichtverhältnissen und Straßenzustand

Bei der Auswertung von Verkehrsunfallanzeigen im Rahmen einer Unfalluntersuchung ist allerdings festzustellen, dass teilweise nicht alle für die Auswertung des Unfalles relevanten Angaben in der Verkehrsunfallanzeige gemacht werden bzw. dass Unstimmigkeiten z. B. im Hinblick auf den genauen Unfallort bestehen.

Die neben der Beschreibung des Unfallherganges wichtigste Angaben zum Unfallhergang ist der Unfalltyp. Dieser beschreibt die verkehrstechnische Konstellation (die Konfliktsituation), die zum Unfall geführt hat. Klassisch unterscheidet man 7 Unfalltypen (siehe Anhang, Anlage 4).

Im Gegensatz zum Unfalltyp gibt die Unfallart an, ob und auf welche Art und Weise die Verkehrsteilnehmer miteinander kollidiert sind. Die Unfallart gibt somit also keinen direkten Hinweis aus welcher Konstellation die Kollision entstanden ist. Durch die Unfallart wird aber beschrieben, wie letztendlich die Unfallschäden entstanden sind. Insgesamt werden zehn Unfallarten unterschieden (siehe Anhang, Anlage 5).

Bei den im Unfallprotokoll angegebenen Unfallursachen handelt es sich um die, aus Sicht der aufnehmenden Polizeibeamten relevanten Ursachen, die das Fehlverhalten eines oder mehrerer Unfallbeteiligten beschreiben und die nach Auffassung der Polizeibeamten letztendlich maßgeblich zum Verkehrsunfall geführt haben. Eine Übersicht über die verschiedenen im Rahmen der Unfallanzeige verwendeten Unfallursachen findet sich im Anhang, Anlage 6.

Zur Beurteilung der Verkehrssicherheit eines Straßenabschnittes genügt es in der Regel nicht, sich allein auf die Absolutzahlen also z. B. der Zahl der Unfälle oder die Zahl der Getöteten für einen bestimmten, abgrenzbaren räumlich-zeitlichen Bereich zu beziehen. Denn zum einen ist für die Beurteilung der Verkehrssicherheit neben dem Unfallereignis an sich auch die Schwere des Unfalles, also dessen Folgen im Hinblick auf Personen- und Sachschäden, von Bedeutung. Zum anderen ist zur Beurteilung der Verkehrssicherheit eines Straßenabschnitts von Bedeutung, für welchen Zeitraum, für welchen Bereich und unter welchen verkehrlichen Bedingungen (Verkehrsstärke) sich die zur Beurteilung der Verkehrssicherheit herangezogenen Verkehrsunfälle ereignet haben. Durch die Bildung relativer Unfallkenngrößen können diese Zusammenhänge berücksichtigt werden. Hierbei wird die absolute Zahl der Unfälle oder die Unfallschwere ausgedrückt, z. B. durch die volkswirtschaftlichen Unfallkosten (resultierend aus Zahl und Schwere der Unfälle), auf eine Bezugsgröße, z. B. die betrachtete Streckenlänge, bezogen.

Relative Unfallkenngrößen ermöglichen es Absolutzahlen, die aus verschiedenen Straßenabschnitten resultieren, miteinander zu vergleichen. Unterscheiden lassen sich die Kenngrößen in Dichten und Raten. Bei der Bildung einer Dichte wird die Zahl der Unfälle bzw. die volkswirtschaftlichen Unfallkosten auf eine bestimmte Streckenlänge (meist 1 km) und einen bestimmten Zeitabschnitt (meist 1 Jahr) bezogen. Durch die Dichte lässt sich somit ausdrücken, wie häufig während eines bestimmten Zeitraumes auf einem bestimmten Straßenabschnitt Unfälle bzw. Unfallkosten entstehen.

Wird neben Länge und Dauer auch die Verkehrsstärke berücksichtigt, spricht man von einer Rate. Durch die Bildung einer Rate wird die Zahl der Unfälle bzw. die Unfallkosten auf die Fahrleistung bezogen, die auf dem betrachteten Streckenabschnitt im betrachteten Zeitraum durch die Kraftfahrzeuge erbracht wurde. Die Rate spiegelt somit das individuelle Risiko eines Verkehrsteilnehmers, einen Unfall bzw. eine bestimmte Unfallfolge zu erleiden, wider.

Bei den Dichten unterscheidet man in:

- Unfalldichten (UD) [$\text{Unf.}/(\text{km} * \text{a})$]
- Unfallkostendichten (UKD) [$\text{€}/(\text{km} * \text{a})$]

Raten unterscheidet man in:

- Unfallrate (UR) [$\text{Unf.}/(\text{Kfz} * \text{km})$]
- Unfallkostenrate (UKR) [$\text{€}/(\text{Kfz} * \text{km})$]

Um die Unfallschwere zu berücksichtigen, besteht zum einen die Möglichkeit, die Absolutzahlen z. B. die Zahl der Getöteten oder Schwerverletzten auf die Unfallzahl (SV/U) oder die Untersuchungsstrecke SV/(km * a) zu beziehen. In Deutschland ist es allerdings üblich, die Unfallschwere über die Unfallkosten, also die volkswirtschaftlichen Verluste, die durch den Straßenverkehrsunfall entstehen, auszudrücken. Hierbei werden für jeden Unfall, je nach Charakteristik, Unfallkosten ermittelt. Hierzu stehen verschiedene, weitgehend standardisierte, Verfahren zur Verfügung. Dabei spiegelt die Summe der Unfallkosten aller betrachteten Unfälle das Unfallgeschehen hinsichtlich Anzahl und Schwere der Unfälle wider. Die Unfallkosten ergeben sich aus volkswirtschaftlichen Betrachtungen, die berücksichtigen, welcher volkswirtschaftliche Nutzen entsteht, wenn der Unfall vermieden wird. Hierbei werden sowohl Personenschäden als auch Sachschäden mit einbezogen. Bei Personenschäden werden insbesondere Ressourcen-Ausfallkosten (z. B. durch Ausfall der Erwerbstätigkeit), direkte Reproduktionskosten (z. B. medizinische Kosten) und indirekte Reproduktionskosten (z. B. Verwaltungskosten der Versicherungen) berücksichtigt. Bei den Sachschäden werden neben den Reparaturkosten auch Gemeinkosten (z. B. für Polizeieinsatz) berücksichtigt.

Die einfachste Möglichkeit zur Berücksichtigung von Unfallkosten ist das Verfahren der pauschalen Unfallkosten. Hierbei wird jedem Unfall entsprechend der schwersten Unfallfolge ein Pauschalbetrag zugeordnet. Die pauschalen Unfallkostensätze werden regelmäßig von der Bundesanstalt für Straßenwesen, dem Bundesverkehrsministerium und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) ermittelt. Neben der Unfallkategorie wird hierbei noch nach der Straßenkategorie unterschieden. Im Anhang, Anlage 7, Tabelle A7-1 sind die pauschalen Unfallkostensätze mit Preisstand 2000 dargestellt.

Bei Verwendung pauschaler Unfallkostensätze werden strukturelle Besonderheiten des Unfallgeschehens im untersuchten Streckenabschnitt allerdings nur vereinfacht abgebildet. Liegt dem Unfallgeschehen z. B. eine gegenüber dem Bundesdurchschnitt veränderte Verunglücktenstruktur zugrunde, liegen die tatsächlichen Unfallkosten höher bzw. niedriger als mit den pauschalen Unfallkosten ausgedrückt. Um dies zu berücksichtigen besteht die Möglichkeit, anhand der speziellen Verunglücktenstruktur des Unfalls (Zahl der Verletzten, Schwere der Verletzung), für jeden Unfall angepasste Unfallkosten zu ermitteln. Bei diesem Verfahren wird jedem Verunglückten je nach Schwere der Verletzung, unterschieden nach Getötet, Schwerverletzt, Leichtverletzt (Definition siehe Anhang, Anlage 7), ein Kostensatz nach Anhang, Anlage 7, Tabelle A7-2 zugeordnet. Die Sachschäden eines Unfalles werden entsprechend der schwersten Unfallfolge des Unfalles nach Anhang, Anlage 7, Tabelle A7-3 zusätzlich berücksichtigt.

Durch die Anwendung angepasster Unfallkosten wird das tatsächliche Unfallgeschehen im Bereich der betrachteten Straßenabschnitte somit besser wiedergegeben. Allerdings muss die Anzahl der auszuwertenden Unfälle mit Personenschaden ausreichend groß sein, um auch vor dem Hintergrund vergleichsweise seltener Unfallereignisse wie Unfällen mit Schwerverletzten oder Getöteten das Gesamtbild des Unfallgeschehens abbilden zu können. Für Außerortsstraßen sollten, um aussagefähige Vergleiche treffen zu können, mindestens 100 Unfälle mit Personenschaden vorliegen [GDV 2003]. Kann diese Zahl an Unfällen für einzelne Untersuchungskollektive nicht gewährleistet werden, besteht noch die Möglichkeit eine indirekte Anpassung der Unfallkosten vorzunehmen. Hierbei werden über ein größeres Unfallkollektiv als das Untersuchungskollektiv angepasste Unfallkostensätze für Unfälle mit Personenschaden (SP und LV) ermittelt, wobei die Kostensätze der Tabellen A7-2 und A7-3 (Anlage, Anhang 7) verwendet werden. Die indirekt angepassten Unfallkostensätze können dann für die Unfallkostenermittlung auch für das Untersuchungskollektiv verwendet werden. Zwischen Gesamtkollektiv und Untersuchungskollektiv dürfen dabei keine systematischen Unterschiede im Hinblick auf die Unfallstruktur bestehen.

Zur Verkehrssicherheit in Autobahnarbeitsstellen liegen bereits zahlreiche Untersuchungen vor. Dabei waren die Auswirkungen der Art der Fahrtrichtungstrennung auf die Verkehrssicherheit erstmals im Projekt von FISCHER/BRANNOLTE (2006) Gegenstand umfassender Untersuchungen. In weiteren vorliegenden Untersuchungen wird das Unfallgeschehen in Arbeitsstellen durch Unfallraten, Unfallkostenraten und Unfallursachen beschrieben. Hierbei werden zum Teil auch die Zusammenhänge mit der vorliegenden Verkehrsführung sowie den einzelnen Bereichen der Baustellenverkehrsführung näher untersucht. Die Art der Gegenverkehrstrennung und der Einfluss der Fahrstreifenbreite werden jedoch weitgehend ausgeklammert.

KREBS/KLÖCKNER (1977) sehen die Fahrbahnbreite, den Kurvenradius und die Längsneigung als maßgebliche Einflussgrößen für die Unfallrate an.

KOCKELKE/ROSSBANDER (1988) sehen den Geschwindigkeitsverlauf beim Durchfahren einer Arbeitsstelle sowie den Verzögerungsprozess und das Abstandsverhalten der Fahrzeuge als für die Unfallentstehung relevant an.

Unfalluntersuchungen an sieben Arbeitsstellen ergaben für den Innenbereich der Arbeitsstelle eine Unfallrate von im Mittel $1,2 \text{ Unf}/10^6 \text{ Fzkm}$, nur der Bereich der 1. Über-

leitung weist eine höhere Unfallrate auf (Tabelle 2-13).

| Unfallrate $[U/(10^6 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km})]$ | Zulaufbereich | 1. Überleitung | Innenbereich | 2. Überleitung | Gesamt- Baustelle |
|---|---------------|-------------------|--------------|-------------------|----------------------|
| Durchschnitt aus allen 7 Streckenabschnitten | | | | | |
| mit Baustelle | 1,08 | 1,31 | 1,20 | 0,81 | 1,15 |
| ohne Baustelle | 0,65 | 0,41 | 0,92 | 1,47 | 0,80 |
| Durchschnitt aller Streckenabschnitte mit VF 4+0 | | | | | |
| mit Baustelle | 0,95 | 1,18 | 1,09 | 0,66 | 0,93 |
| ohne Baustelle | 0,76 | 0,40 | 0,75 | 1,76 | 0,81 |

Tabelle 2-13: Unfallraten nach KOCKELKE/ROSSBANDER (1988)

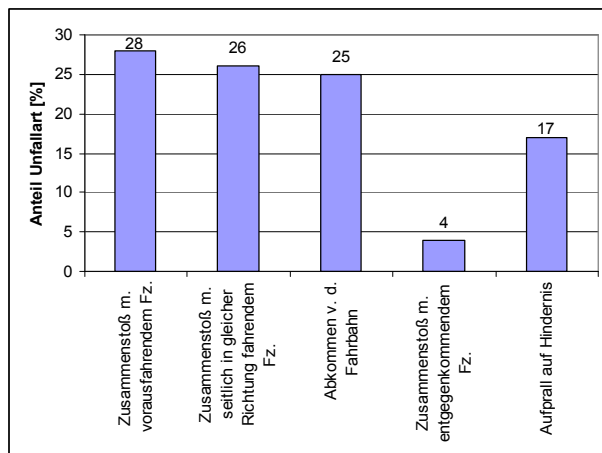


Bild 2-26: Hauptunfallarten im Innenbereich der Arbeitsstelle, n = 108 [KOCKELKE/ROSSBANDER (1988)]

Maßgebliche Unfallarten sind im Innenbereich der Baustelle: der Zusammenstoß mit einem vorausfahrenden Fahrzeug (28%), der Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, dass seitlich in die gleiche Richtung fährt (26%) und das Abkommen von der Fahrbahn (25%). Die Unfallart „Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug“ trat im Innenbereich der Baustelle nur bei 4% der untersuchten Unfälle auf, Hauptunfallursache war in allen Bereichen die „nicht angepasste Geschwindigkeit“.

Für den Bereich der Gegenverkehrsführung ermittelten EMDE/HAMESTER (1983) die in Tabelle 2-14 zusammengestellten Unfallraten. Hierbei wurden neben der Betrachtung aller Unfälle auch getrennt Unfallraten für Unfälle mit schwerem Personenschaden, leichtem Personenschaden und Sachschaden gebildet. EMDE/HAMESTER (1983) führen die geringeren UR bei Verkehrsführung 3s+1 auf ein geringeres Unfallrisiko durch die Fahrstreifentrennung der baustellenzugewandten Fahrtrichtung zurück.

| Verkehrsführung | Unfallrate (UR) [U/10 ⁶ Fzkm] (Richtung/Gegenr.) (Anzahl Unfälle) | UR-SP (Unfälle mit schwerem Personenschaden) | UR-LP (Unfälle mit leichtem Personenschaden) | UR-S (Unfälle mit Sachschaden) |
|-----------------|--|---|---|--------------------------------------|
| 4+0 | 1,337/1,549 1038/1203 | 0,071/0,085 55/66 | 0,274/0,358 213/278 | 0,992/1,106 770/859 |
| 3+1 | 0,801/0,963 89/107 | 0,027/0,090 3/10 | 0,135/0,162 15/18 | 0,639/0,711 71/79 |

Tabelle 2-14: Unfallraten, nach EMDE/HAMESTER (1983)

WEINSPACH (1988) verweist auf eine Untersuchung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), nach der die häufigsten Unfallursachen im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen zu geringer Abstand sowie „nicht angepasste Geschwindigkeit“ mit jeweils etwa 30% sind.

GÜLICH (1994) führt auf Basis einer Literaturanalyse eine vergleichende Bewertung der Verkehrsführungen 3+1 und 4+0 durch. Er entwickelt für die Bewertung einen Kriterienkatalog in dem einzelne Kriterien jeweils als vorteilhaft, neutral oder nachteilig bewertet werden. Da laut GÜLICH (1994) geeignete Unfalluntersuchungen fehlen, schlägt er vor, das Unfallrisiko beider Verkehrsführungen als gleich anzusetzen. Insgesamt sieht GÜLICH (1994) Vorteile für eine Verkehrsführung 4+0.

Aufgrund der Erkenntnisse aus einer Literaturrecherche bezeichnen KRUX/DETERMANN (1995) die Verkehrsführung 4+0 als besonders unfallträchtig.

HARLOW/SUMMERSGILL (1986), stellte bei einer Unfalluntersuchung an 23 Arbeitsstellen der Verkehrsführungen 3+1 und 4+0 in England fest, dass Arbeitsstellen, in denen die Gegenverkehrsfahrspuren durch eine zusätzliche 1,3 m breiten Pufferzone bzw. einen Pufferfahrstreifen getrennt waren, sicherer sind.

LAFFONT/SCHMIDT (1995) führten im Rahmen einer Untersuchung zur Minderung des Stau- und Unfallrisikos bei einstreifigen Verkehrsführungen Verkehrserhebungen sowie Unfalluntersuchungen an Autobahnbaustellen mit den Verkehrsführungen 2+0, 2+1 und 1+1 durch. Bei der durchgeführten Unfalluntersuchung an den ausgewählten Arbeitsstellen wurden Unfallraten und Unfallkostenraten bestimmt. Bei Betrachtung der Behelfsverkehrsführung also einschließlich Zulauf, Überleitungen und Entflechtung stellen LAFFONT/SCHMIDT (1995) fest, dass Unfallrate und Unfallkostenrate bei einer 2+0 Führung mit Stahlschutzwand unter denen ohne Schutzwand liegen. LAFFONT/SCHMIDT (1995) geben daher die Empfehlung, die bauliche Trennung des Gegenverkehrs möglichst „in Form von Gleit- oder Schutzwänden aus Stahl, Beton oder Kunststoff (mit Wasserfüllung) in jedem Fall zu bevorzugen, da hierdurch Gegenverkehrsunfälle weitgehend vermieden werden.“

HANKO (1995) ermittelte für den Gegenverkehrsbereich in Arbeitsstellen, je nach Verkehrsführung, Unfallraten bei Unfällen mit Personenschäden von 0,16 bis 0,21 Unf/10⁶Fzkm und bei Unfällen mit Sachschäden von 0,83 bis 0,89 Unf/10⁶Fzkm. Dabei weisen die Unfallraten ihr Maximum im Bereich der 1. Überleitung auf. Bei Betrachtung aller Unfälle mit Personenschaden im Bereich von Überleitungen und Innenbereich der Baustelle ist die Hauptunfallart der Auffahrunfall im Längsverkehr (35%) gefolgt vom Abkommensunfall (25%), während bei Betrachtung der Sachschadenunfälle Hauptunfallart das Auffahren auf Elemente der Baustellenabsicherung ist (45%). Dies führt HANKO (1995) auf häufige Kollisionen im Bereich der Überleitungen zurück.

PETERSEN (1988) beschreibt die Ergebnisse verschiedener internationaler Forschungsarbeiten und stellt hierbei unter anderem fest, dass bei Überleitung des Verkehrs auf die Gegenfahrbahn die Unfallrate für Unfälle mit Personenschäden 2,5mal so hoch liegt wie ohne Arbeitsstelle, wobei Unfälle im Gegenverkehrsbereich als meist besonders folgeschwer bezeichnet werden. Die Auffahrunfälle machen im Baustellenbereich etwa 50-60% aller Unfälle aus. Die relativ häufigen Auffahrunfälle und Streifkollisionen mit den Baustelleneinrichtungen werden nach PETERSEN (1988) meist nicht erfasst. Aufgrund dieser Dunkelziffer liegen die tatsächlichen Unfallraten nach Ansicht von PETERSEN (1988) wesentlich höher als in der Statistik ausgewiesen. Da Unfälle mit Gegenverkehr besonders schwerwiegend sind, gibt er die Empfehlung, falls die Überleitungen einer Fahrtrichtung auf die Fahrbahn des Gegenverkehrs nicht vermieden werden kann, die Trennung der Fahrtrichtungen mit „baulichen Abschränkungen“ vorzunehmen.

Im Rahmen der Forschungsarbeit von LAUBE (2001) ergab sich für eine Baustelle mit 3+1 Verkehrsführung eine Unfallrate von 1,08 U/10⁶Kfzkm und für eine 4+0 Verkehrsführung eine Unfallrate von 0,66 U/10⁶Kfzkm. Ohne Berücksichtigung von Unfällen in Anschlussstellenbereichen ergaben sich Unfallraten von 0,42 U/10⁶Kfzkm und 0,35 U/10⁶Kfzkm. Im Zuge einer weiteren Baustelle mit 3+1 Führung erwiesen sich die Unfalltypen „Auffahrkollision“ mit 46%, „Streifkollision“ 21% und „Fahrerunfall“ 21% als wichtigste Unfalltypen. Unfälle im Anschlussstellenbereich wurden hierbei nicht berücksichtigt.

In einer Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse einer OECD Arbeitsgruppe [OECD (1989)] wird festgestellt, dass Unfälle mit Gegenverkehr besonders schwerwiegend sind und daher die Verkehrsströme mit Abschränkungen oder durch Freihalten einer Pufferzone physisch zu trennen sind. Mobile Abschränkungen können laut OECD (1989) aufgestellt werden, um die Unfallfolgen zu mindern.

RÜFFER/BRAUN (2001) untersuchten einen Arbeitsstellenbereich im Zuge bei dem auf einer Länge von insgesamt 43 km der Verkehr mit einer 4+0 Verkehrsführung geführt wurde. Hierbei erfolgte die Gegenverkehrstrennung teilweise durch Markierung mit Sichtzeichen (20,4 km) und teilweise durch Stahlschutzwände.

| Hauptunfallursachen | mit Schutzeinrichtung Unfallanzahl [-] | ohne Schutzeinrichtung Unfallanzahl [-] | gesamt Unfallanzahl [-] |
|------------------------|---|--|----------------------------|
| Abstand | 172 | 159 | 331 |
| Geschwindigkeit | 97 | 88 | 185 |
| Nebeneinander fahren | 62 | 44 | 106 |
| Abkommen v.d. Fahrbahn | 56 | 40 | 96 |

Tabelle 2-15: Hauptunfallursachen im Baustellenbereich, nach RÜFFER/BRAUN (2001)

| Baustellenbereich Gesamt | Unfälle gesamt | Tote | Verletzte | Unfälle je km | Tote je km | Verletzte je km |
|--|-------------------|------|-----------|------------------|---------------|--------------------|
| mit Schutzeinrichtung | 514 | 9 | 87 | 27,7 | 0,4 | 3,6 |
| davon mit Berührung der Schutzeinrichtung | 136 | 6 | 21 | 7,4 | 0,3 | 0,9 |
| mit Doppelmarkierung | 431 | 10 | 94 | 22,2 | 0,5 | 4,4 |
| davon Kollision mit Gegenverkehr | 8 | 10 | 24 | 0,4 | 0,5 | 1,2 |

Tabelle 2-16: Statistik des Unfallgeschehens, nach RÜFFER/BRAUN (2001)

Die Bereiche ohne transportable Schutzeinrichtungen weisen demnach mit 22,2 U/(km*10Monaten) (entspricht 27,0 U/(km*a)) eine geringere Unfalldichte auf als mit transportabler Schutzeinrichtung 27,7 U/(km*10Mon) (entspricht 33,2 U/(km*a)). Hauptunfallursachen sind (ohne/mit Schutzeinrichtung): zu geringer Abstand (36,9%/33,5%), überhöhte Geschwindigkeit (20,4%/18,9%), Nebeneinander fahren (10,2%/12,1%) und Abkommen von der Fahrbahn (9,3%/10,9%). Ohne Schutzeinrichtung wurden im Zeitraum von 10 Monaten 0,5 Personen pro Kilometer getötet, diese resultierten alle aus Unfällen mit Gegenverkehrskollision. Mit Schutzeinrichtung wurden im selben Zeitraum 0,4 Getötete pro Kilometer gezählt, wobei der Großteil aus Unfällen mit Berührung der Schutzeinrichtung resultiert. RÜFFER/BRAUN (2001) bemerken weiterhin:

- Verschiebungen der Mitteltrennung führen zu Gefahren für den Gegenverkehr sowie der Gefahren von Unfällen infolge Staubildung bei den erforderlichen Richtarbeiten.
- Es kann eine Erhöhung der Zahl der Unfälle mit Getöteten im Laufe der Bauzeit beobachtet werden, mutmaßlicher Grund hierfür: Gewöhnungsprozess mit Einstellung einer höheren Risikobereitschaft.
- Es ergaben sich bei Unfällen im Bereich mit Gegenverkehrstrennung Probleme an die Unfallstelle zu gelangen, da Fahrstreifen, die blockiert waren, ein Ausweichen in den Gegenverkehr nicht ermöglichten und die Fahrzeuge aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse keine Rettungsgasse freimachen konnten.

Im Rahmen einer Untersuchung des Ministeriums für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des Landes Brandenburg (MSWV 2004) wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Fahrstreifenaufteilungen auf das Unfallgeschehen betrachtet. Hierbei wurden im Bereich einer Arbeitsstelle mit einer Verkehrsführung 4s+0 in einer Fahrtrichtung die Fahrstreifen gemäß RSA-95 [BMVBW 1995] mit einer Breite von jeweils 3,25 m markiert. In Gegenrichtung erhielten als Variante der Laststreifen eine Breite von 3,50 m und der Überholstreifen eine Breite von 3,00 m. Ziel war es, durch die Verbreiterung des Laststreifens die Zahl der Abkommensunfälle nach links für Lkw zu senken. Es wurde jedoch festgestellt, dass im Bereich der alternativen Fahrstreifenaufteilung während des 17-monatigen Betrachtungszeitraumes die Unfallzahl deutlich (Faktor 1,8) über der Unfallzahl im Bereich der RSA-konformen Fahrstreifenaufteilung lag. Hierbei traten insbesondere mehr Unfälle der Unfallart 3 – seitlicher Zusammenstoß mit in gleicher Richtung fahrendem Fahrzeug) auf. Hieraus wurde der Schluss gezogen, die Fahrstreifenaufteilung gemäß RSA-95 vorzunehmen, so dass Mehrbreiten zunächst (über die Verbreiterung der Trennstreifens hinaus) dem Überholfahrstreifen zuzuschlagen sind.

2.6 Erkenntnisse aus Forschungsprojekten an der Bauhaus-Universität Weimar

2.6.1 Projektvorstellung

An der Bauhaus-Universität Weimar wurden zur hier relevanten Thematik zwei Forschungsprojekte durchgeführt. Dies waren:

- Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen (FISCHER/BRANNOLTE (2006))
- Volkswirtschaftlicher Nutzen neuer Autobahnquerschnitte (BARK/BRANNOLTE/FISCHER/ et. al (2006))

Nachfolgend werden die, auch für die hiesige Fragestellung relevanten, Ergebnisse dieser Projekte dargestellt. Die im Rahmen dieser Projekte erhobenen Daten sowie

die Projektergebnisse bilden einen wesentlichen Grundstock der hier vorliegenden Arbeit.

2.6.2 Verkehrsablauf und Fahrerverhalten

Messmethodik

Im Rahmen der Untersuchung von FISCHER/BRANNOLTE (2006) wurden lokale, querschnittsbezogene Verkehrserhebungen an insgesamt 15 Arbeitsstellen durchgeführt, die sich hinsichtlich der Verkehrsführung, den Fahrstreifenbreiten und der eingesetzten Gegenverkehrstrennung unterschieden. Die Erhebungen wurden in den Zeiträumen Juli bis August 2002 und Juni bis September 2003 durchgeführt.

Aus den erhobenen Messdaten konnten folgende Größen abgeleitet werden:

- Verkehrsstärke
- Schwerverkehrsanteil
- Fahrzeuggeschwindigkeiten
- Aufteilung des Verkehrs auf die Fahrstreifen
- Fahrzeuglängsabstände

Detaillierte Angaben zum Ablauf der Messungen und Lage der Messstrecken können der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) sowie Anlage 8 des Anhangs entnommen werden.

Die stationären Messungen wurden in der Regel an einem, maximal jedoch an drei Querschnitten je Messstrecke durchgeführt. Die Messstrecken und Messquerschnitte wurden so ausgewählt, dass hinsichtlich Trassierungsparameter (Längsneigung, Radien) möglichst vergleichbare Verhältnisse vorlagen.

Der Verkehrsablauf wurde dabei von Brückenbauwerken von schräg oberhalb der Fahrstreifen aufgezeichnet.

Zur Erfassung des Fahrerverhaltens der Fahrzeugführer sowie der Änderung der Geschwindigkeiten im Zuge der Arbeitsstellendurchfahrt wurden Fahrzeugnachfahrten zeitgleich zu den lokalen Messungen durchgeführt.

Verteilung auf die Fahrstreifen

Die an den Messquerschnitten ermittelten fahrtrichtungsbezogenen Verkehrsstärken teilen sich, in Abhängigkeit von der jeweiligen Verkehrsstärke, unterschiedlich auf die beiden je Fahrtrichtung zur Verfügung stehenden Fahrstreifen auf. In den Diagrammen in Anlage 9 des Anhangs wurde der Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Abhängigkeit von der Gesamtverkehrsstärke aufgetragen. Erwartungsgemäß nimmt in allen Fällen der Anteil des linken Fahrstreifens mit steigender Gesamtverkehrsstärke zu. Dabei geht der Trend dahin, dass bei größeren Fahrstreifenbreiten der Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke zunimmt.

Hinsichtlich des Einflusses der Gegenverkehrstrennung auf die Belegung des linken Fahrstreifens kann festgestellt werden, dass diese bei gleicher Gesamtverkehrsstär-

ke ca. 10 % geringer ist, wenn die Richtungstrennung mittels Markierung erfolgt und gleichzeitig eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h angeordnet wurde. Beträgt die zulässige Höchstgeschwindigkeit 80 km/h konnten keine maßgeblichen Unterschiede zu Strecken mit transportablen Schutzeinrichtungen festgestellt werden.

Geschwindigkeiten

Die mittleren lokal gemessenen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge lagen auf dem jeweils rechten Fahrstreifen im Bereich der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, während auf dem linken Fahrstreifen die mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge teilweise mehr als 20 km/h über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h

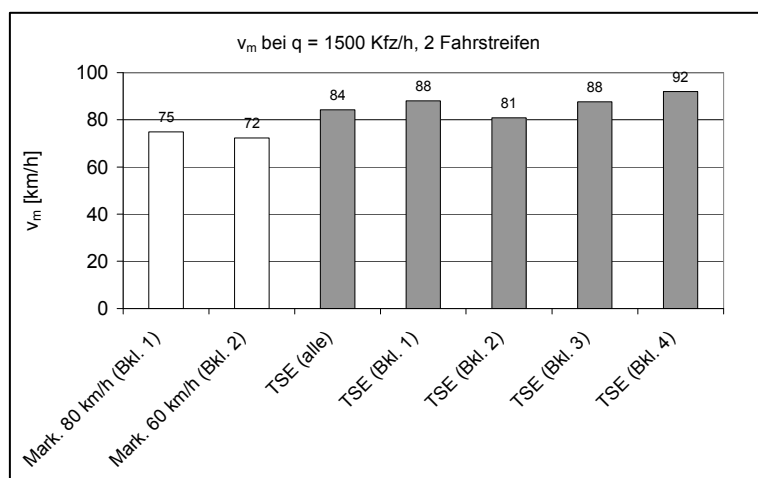


Bild 2-27: Abhängigkeit der mittleren momentanen Pkw-Geschwindigkeit vom Trennungssystem und den Fahrstreifenbreiten (Mark – Fahrtrichtungstrennung durch Markierung mit Sichtzeichen, TSE – Fahrtrichtungstrennung durch transportable Schutzeinrichtungen)

lag. Bei zwei nebeneinanderliegenden Fahrstreifen je Fahrtrichtung lagen die Geschwindigkeiten insgesamt in einem Bereich von ca. 70 bis 90 km/h. Ferner wurde festgestellt, dass durch die Anordnung einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h nur eine vergleichsweise geringe Geschwindigkeitsreduzierung erzielt werden kann, die mittleren Geschwindigkeiten lagen hier ebenfalls über 80 km/h.

Zum direkten Vergleich der Messergebnisse der verschiedenen Messquerschnitte wurden von FISCHER/BRANNOLTE (2006) unter Berücksichtigung der ermittelten Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und mittlerer Geschwindigkeit für eine Verkehrsstärke von 1.500 Kfz/h mittlere momentane Pkw-Geschwindigkeiten errechnet. Dabei wurde festgestellt, dass die mittleren Geschwindigkeiten der Fahrzeuge mit zunehmender Gesamtfahrstreifenbreite tendenziell zunehmen (Bild 2-27).

2.6.3 Verkehrssicherheit

Datengrundlage

Datenbasis der Arbeiten von FISCHER/BRANNOLTE (2006) und der Arbeit von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) sind Unfälle im Zuge von Arbeitsstellen mit den Verkehrsführungen 2s+0, 3s+0, 3s+1, 4s+0 und 4s+2. Als Trennungssysteme wurden transportable Schutzeinrichtungen, im wesentlichen Stahlschutzwände, Leit-schwellen und eine Trennung mittels Markierungsmaterialien berücksichtigt. Die Un-

falluntersuchung beschränkte sich dabei auf den Innenbereich der Arbeitsstellen, Unfälle im Bereich der Anschlussstellen wurden ausgeklammert. Insgesamt wurden im Rahmen der o. g. Arbeiten über 5.000 Unfälle in mehr als 200 Arbeitsstellen ausgewertet. Nachfolgend soll auf die Betrachtung der Verkehrsführung 4s+2 und des Trennungssystem Leitschwelle nicht weiter eingegangen werden, da die Ergebnisse für die vorliegende Fragestellung nicht relevant sind. Hier wird auf die Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) verwiesen.

| Verkehrsführung | Trennungssystem | Anzahl Arbeitsstellen | Anzahl Unfälle |
|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|
| 2 + 0 | transp. S E | 4 0 | 2 3 4 |
| 3 s + 0 | transp. S E | 3 | 6 0 |
| 3 s + 1 | transp. S E | 4 4 | 7 4 8 |
| 4 s + 0 | Markierung | 2 3 | 8 0 6 |
| | transp. S E | 7 7 | 2 1 0 4 |

Tabelle 2-17: Datenbasis der Unfalluntersuchung

Beschreibung des Unfallgeschehens

In der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) wurde festgestellt: Maßgeblicher Unfalltyp bei Unfällen im Zuge von Autobahnarbeitsstellen ist der Unfall im Längsverkehr mit einem Anteil von ca. 65%. Danach folgen Fahrunfälle mit einem Anteil von ca. 20 % und sonstige Unfälle mit ca. 15 % Anteil. Als Unfälle werden am häufigsten „Zusammenstoß mit Fahrzeug das vorausfährt/wartet“ (Unfallart 2) und „Zusammenstoß mit Fahrzeug das seitlich in gleicher Richtung fährt“ (Unfallart 3) polizeilich erfasst. Hauptunfallursachen waren nicht angepasste Geschwindigkeit, ungenügender Sicherheitsabstand und Fehler beim Überholen/Nebeneinanderfahren.

Bewertung der Verkehrssicherheit

Aus der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Die Unfalldichte liegt in Arbeitsstellen mit dem Trennungssystem „Stahlschutzwand“ höher als in Arbeitsstellen bei denen die Fahrtrichtungen durch Markierung getrennt sind. Dies wird insbesondere auf die hohe Unfalldichte von Unfällen der Unfallart 3 (Kollision mit Fahrzeug das seitlich in gleicher Richtung fährt) bei Trennung durch Stahlschutzwände zurückgeführt.
- Ebenso liegt die Unfallrate in Arbeitsstellen mit dem Trennungssystem „Stahlschutzwand“ höher als bei Trennung durch Markierung.
- Die mittlere Unfallschwere lag bei einer Gegenverkehrstrennung mittels Markierung und Sichtzeichen deutlich höher als bei Trennung durch Stahlschutzwände.
- Die Unfallkostenrate lag im Bereich von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung durch Stahlschutzwände um 40 % niedriger als in Arbeitsstellen mit Trennung durch Markierung.

Eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse für verschiedene Verkehrsführungen ist in der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) nicht gegeben, da bei der Verkehrsführung 3s+1 Unfälle auf dem baustellenzugewandten, einzelnen Fahrstreifen nicht mit

berücksichtigt wurden. Daher wurde in der Arbeit von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) ein Teil der Unfalldaten der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) nochmals ausgewertet und um Daten der Verkehrsführungen 2+0 und 3s+0 ergänzt. Hieraus wurden Unfallkostenraten für die Verkehrsführungen 3s+0, 3s+1 und 4s+0 ermittelt (siehe Tabelle 2-18).

| | Unfallkostenrate [€/(1.000*Kfz*km)] |
|---------------------------------------|---|
| 4s+0, Markierung ohne Sichtzeichen | 40 |
| 4s+0, transportable Schutzeinrichtung | 23 |
| 3s+1, transportable Schutzeinrichtung | 22 |
| 3s+0, transportable Schutzeinrichtung | 33 (+0,5 für die Fahrtrichtung mit Fs.-reduktion) |

Tabelle 2-18: Unfallkostenraten für verschiedene Behelfsverkehrsführungen, BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006)

2.6.4 Investitionskosten

Auf Basis der Untersuchung von JANSEN/PLATZ/HÜLSEMANN (2000) und Auswertungen zu Straßenneubauinvestitionen des BMVBS haben BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) Investitionskosten für Straßenquerschnitte mit Breiten der befestigten Flächen von 10,5 m (RQ 28), 11,5 m (RQ 29,5) und 12,0 m (RQ 31) ermittelt. Um die große Spannweite der in der Realität auftretenden Investitionskosten pro Kilometer Neubau zu berücksichtigen, wurden jeweils ein niedriger, ein mittlerer und ein hoher Baukostenansatz angegeben. Die für die Deckenerneuerung bzw. Grundhafte Erneuerung erforderlichen Investitionskosten wurden in der Arbeit von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) anhand der Abschreibungszeiträume der Teilleistungen und des Kostenanteils der Teilleistungen an den Gesamtkosten ermittelt.

Die in den EWS [FGSV 1997] angegebene Aufteilung der Baukosten (siehe Tabelle 2-19) wurde von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) aufgrund der in der Untersuchung von JANSEN/PLATZ/HÜLSEMANN (2000) gemachten detaillierteren Angaben zu Baukosten angepasst.

Wesentliche Änderungen gegenüber der Aufteilung nach EWS [FGSV 1997] ergeben sich in einer Erhöhung des Anteils der nicht abschreibungsfähigen Leistungen, einer Erhöhung des Anteils der Kunstbauten und in einer Verminderung der Anteile für Erdbau und für Deckenbau (Oberbau).

| | Kostenanteil | Abschreibungszeitraum |
|--------------------|--------------|-----------------------|
| Grunderwerb | 10% | ∞ Jahre |
| Kunstbauten | 30% | 50 Jahre |
| Erdbau | 30% | 100 Jahre |
| Deckenbau | 30% | 20 Jahre |

Tabelle 2-19: Aufteilung und Abschreibung bestimmter Kostengruppen nach EWS 1997 [FGSV 1997]

| Teilleistung q | Abschreibungszeitraum d _q [Jahre] | Anteil [%] |
|---|---|------------|
| Nicht abschreibungsfähige Leistungen | ∞ | 15% |
| Kunstbauten | 50 | 45% |
| Erdbau | 100 | 20% |
| Oberbau+Ausstattung, Abschreibung 15 Jahre nachfolgend „Deckenerneuerung“ | 15 | 7% |
| Oberbau+Ausstattung, Abschreibung 30 Jahre Nachfolgend „Grundhafte Erneuerung“ | 30 | 13% |
| Gesamt | | 100% |

Tabelle 2-20: Gewählte Ausgabenverteilung und Abschreibungszeiträume der Bauleistungen

Die Abschreibungszeiträume der einzelnen Teilleistungen wurden von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) aufgrund von Befragungen von Straßenbau-behörden und auf Basis der in der Literatur gemachten Angaben festgelegt. Sie sind in Tabelle 2-20 dargestellt.

Die Teilleistung Oberbau wurde dabei in Leistungen unterteilt die 15 Jahre bzw. 30 Jahre Abschreibungszeitraum aufweisen. So ist z. B. festzustellen, dass die Fahr-bahndecke i. A. eine kürzere Lebensdauer aufweist als die Tragschichten. Die EWS 1997 [FGSV 1997] gehen beispielsweise davon aus, dass Tragschichten über 50 Jahre, Asphaltbinderschichten über 25 Jahre, Asphaltdeckschichten über 12,5 Jahre und Betondecken über 25 Jahre abgeschrieben werden. Die von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) durchgeführte Befragung von Straßenbaube-hörden ergab, dass ca. alle 12 – 30 Jahre eine Erneuerung der Fahrbahndecke und alle 20 bis 40 Jahre eine grundhafte Erneuerung des Oberbaus durchgeführt wird.

Der Anteil der Deckenerneuerung an den Gesamtkosten des Oberbaus beträgt rund 1/3 [BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006)]. Daher wurden 1/3 der Gesamtkosten für den Oberbau über 15 Jahre und 2/3 über 30 Jahre abgeschrieben.

Neben dem Oberbau muss innerhalb des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren auch die Straßenausstattung (Beschilderung, Markierung, pass. Schutzeinrichtun-gen) erneuert werden. Die EWS [FGSV 1997] schlagen für diese Anlagen einen Ab-schreibungszeitraum von 10 Jahren vor. Die Kosten für Straßenausstattung wurden von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) analog zu den Abschreibungszeiträumen des Oberbaus zu 1/3 mit 15 Jahren Abschreibung und zu 2/3 mit 30 Jahren Ab-schreibung angesetzt.

Die Kosten für Ersatzinvestitionen ergeben sich aus dem Umfang der Maßnahmen und dem Anteil der zu ersetzenden Teilleistung an den Gesamtinvestitionskosten für einen Neubau. Für eine über 15 Jahre abzuschreibende und daher alle 15 Jahre durchzuführende Deckenerneuerung wurden von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) somit 7% der Gesamtinvestitionskosten im Jahr der Durchführung veran-schlagt. Zusätzlich hierzu müssen alle 30 Jahre die Leistungen durchgeführt werden, die über 30 Jahre abgeschrieben werden und 13 % der Gesamtinvestitionskosten ausmachen.

2.6.5 Änderung der Investitionskosten aufgrund der gewählten Behelfsverkehrsführung und des vorhandenen Straßenquerschnittes

Die Untersuchung von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) ergab, dass bei Baumaßnahmen höhere Kosten entstehen, wenn an Stelle einer 4s+0- Verkehrsführung eine 3s+1- Verkehrsführung eingesetzt wird. Begründen lässt sich dies mit den negativen Wirkungen auf den Bauablauf. Steht eine Richtungsfahrbahn nicht vollständig zur Verfügung, wirkt sich dies unter anderem folgendermaßen auf den Bauablauf aus:

- Erschwerte Zuwegung zum Baufeld insbesondere bei Lage des Baufeldes neben dem Mittelstreifen,
- eingeschränkte Begegnungs- und Wendemöglichkeiten für Baufahrzeuge, das Baufeld muss teilweise durch Rückwärtsfahren erschlossen werden,
- eingeschränkte Bewegungsfreiheit für Baufahrzeuge, z. B. Bagger können nicht über die komplette Fahrbahn schwenken, Schwenkvorgang muss innerhalb des Baufeldes erfolgen,
- es sind mehrfache Änderung der Verkehrsführungen notwendig und
- es entsteht ein Mehraufwand infolge von Anschlussarbeiten der verschiedenen Zwischenbauzustände aneinander

Zum Teil werden zusätzliche Arbeiten erforderlich (z. B. Ausbildung von Anschlussfugen in Längsrichtung) zum Teil wird die Effektivität des Baubetriebes negativ beeinflusst, wie z. B. durch die eingeschränkten Bewegungsspielräume. Dies führt dazu, dass die Arbeitsleistung sinkt und die Kosten steigen. Die sich insgesamt ergebenden anteilmäßigen Mehrkosten infolge einer Verkehrsführung 3s+1 gegenüber einer „+0“ Verkehrsführung wurden mit Hilfe der Ergebnisse der Befragung der Autobahnämter abgeschätzt. Vom Landesbetrieb Straßenbau NRW (ca. 10 % höhere Kosten) und der ABD Nordbayern (ca. 20 % höhere Kosten) wurden Angaben zur Problematik gemacht. Eine mündliche Aussage des Thüringer Landesamtes für Straßenbau, Abteilung Autobahnen, bestätigt diese Ergebnisse (10 – 20 % höhere Kosten). BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) variierten daher der Mehrkostaufwand und führten die Berechnungen mit 15% Mehraufwand als wahrscheinliche Einschätzung und zum Vergleich mit 10 % Mehraufwand als kritische Einschätzung durch.

Weitere Nachteile der Verkehrsführung 3s+1 liegen darin, dass aufgrund der in Längsrichtung nicht fugen- bzw. nahtfrei durchführbaren Baumaßnahmen bestimmte, als vergleichsweise dauerhaft angesehene, Bauweisen nicht durchgeführt werden können oder infolge der Längsnähte eine geringere Lebensdauer des Straßenoberbaus resultieren kann.

2.6.6 Laufende Kosten

Die laufenden Kosten für den Normalbetrieb und den Fall von Arbeitsstellen längerer Dauer wurden im Zuge der Befragung der Straßenbauverwaltungen von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) erhoben.

Angaben zu den laufenden Kosten im Normalzustand wurden von der ABD Nordbayern (25.000 €/km jährlich) und vom Landesbetrieb Straßenbau NRW (28.700 €/km jährlich) gemacht. In beiden Fällen werden die laufenden Kosten als unabhängig von der Fahrbahn angegeben. BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) setzen für die Berechnungen einen Mittelwert von 27.000 €/km jährlich an.

Zu den laufenden Kosten, die beim Betrieb von Arbeitsstellen längerer Dauer anfallen, wurden von der ABD Nordbayern, der Straßenbauverwaltung in Hessen und der Straßenbauverwaltung des Saarlandes detaillierte Angaben gemacht. Diese Angaben wurden für die Abschätzung der anzusetzenden laufenden Kosten verwendet. Weiterhin lagen die Kosten für eine Baustelle aus Rheinland-Pfalz vor, die mit den Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0 betrieben wurde. Diese Angaben wurden zur Kontrolle auf Plausibilität der ermittelten Daten genutzt. In Tabelle 2-21 sind die Befragungsergebnisse dargestellt. Es zeigt sich, dass die gemachten Angaben eine sehr große Bandbreite aufweisen. Folgendes kann jedoch abgeleitet werden:

- Für Einrichtung und Abbau einer Verkehrsführung 3s+1 mit transp. Schutzeinrichtungen fallen insbesondere infolge der zusätzlich erforderlichen Leit- und Schutzeinrichtungen am Fahrstreifen, der direkt an das Baufeld anschließt, 10- 50 % höhere Kosten an, als bei Einrichtung einer Verkehrsführung 4s+0 mit transp. Schutzeinrichtungen.
- Für Betrieb, Wartung und Kontrolle einer Verkehrsführung 3s+1 mit transp. Schutzeinrichtungen fallen 10- 25 % höhere Kosten an, als bei Einrichtung einer Verkehrsführung 4s+0 mit transp. Schutzeinrichtungen.
- Die Verkehrsführungen 4s+0 und 3s+0 unterscheiden sich hinsichtlich der anfallenden laufenden Kosten kaum.
- Der Einsatz einer Markierung mit Sichtzeichen ist bei gleicher Verkehrsführung günstiger als der Einsatz transportabler Schutzeinrichtungen.

| | 4s+0, Markierung | 4s+0, transp. SE | 3s+1, transp. SE | 3s+0, transp. SE |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Einrichtung/ Abbau (ABD Nordbayern) | 20.000 €/km | 30.000 €/km | 45.000 €/km | 30.000 €/km |
| Betrieb, Wartung, Kontrolle (ABD Nordbayern) | 400 €/(km*Tag) | 400 €/(km*Tag) | 500 €/(km*Tag) | 400 €/(km*Tag) |
| Einrichtung/Abbau (Hessen) | k. A. | 25.000 €/km | 27.000 €/km | 23.500 €/km |
| Betrieb, Wartung, Kontrolle (Hessen) | k. A. | 175 €/(km*Tag) | 190 €/(km*Tag) | 165 €/(km*Tag) |
| Betrieb, Wartung, Kontrolle (Saarland) | 100 €/(km*Tag) | 750 €/(km*Tag) | 750 €/(km*Tag) | 750 €/(km*Tag) |
| Angaben RLP für Einrichtung, Abbau, Betrieb, Wartung und Kontrolle | k. A. | 430 €/(km*Tag) | 470 €/(km*Tag) | k. A. |

Tabelle 2-21: Laufende Kosten für den Betrieb einer Arbeitsstelle längerer Dauer [Befragungsergebnisse]

2.7 Zusammenfassung

Im Hinblick auf den mit dieser Arbeit durchzuführenden volkswirtschaftlichen Vergleich verschiedener Behelfsverkehrsführungen sind folgende bestehende Erkenntnisse zur Wirkung von Behelfsverkehrsführung und Trennungssystem auf Verkehrsablauf, Verkehrssicherheit, Kosten und Arbeitsstellendauer von besonderer Bedeutung:

- Arbeitsstellen längerer Dauer an Autobahnen resultieren im Wesentlichen aus Baumaßnahmen zur Deckenerneuerung oder grundhaften Erneuerung der Fahrbahn. Solche Baumaßnahmen werden etwa alle 15 (Deckenerneuerung) bzw. alle 30 Jahre (grundhafte Erneuerung) durchgeführt. Die Dauer solcher Maßnahmen variiert, insbesondere bei Baumaßnahmen mit grundhafter Erneuerung des Straßenoberbaus, sehr stark.
- Erfolgen die hier betrachteten Maßnahmen Deckenerneuerung und grundhafte Erneuerung im Zuge einer Verkehrsführung $3s+1$ fallen um ca. 15 % höhere Investitionskosten an als bei Verkehrsführungen $3s+0$ oder $4s+0$. Gleichzeitig verlängert sich im Falle einer Verkehrsführung $3s+1$ auch die Bauzeit um ca. 30%.
- Die Kapazität eines Behelfsfahstreifens wird maßgeblich von der Fahstreifenbreite, einer eventuellen Überleitung auf die Gegenfahrbahn, einer Reduktion der Fahstreifenanzahl und dem Anteil Ortsunkundiger beeinflusst. Daher unterscheiden sich die Kapazitäten der Verkehrsführungen $3s+0$, $3s+1$ und $4s+0$. Eine Ermittlung der Kapazitäten der Verkehrsführungen kann anhand des Verfahrens der RBAP 1996 [BMVBW 1996a] erfolgen.
- Die Fahstreifenbreite wirkt sich sowohl auf die Wahl der Lage der Fahrlinien als auch auf die Verteilung der Abweichungen der Fahrzeuge von der jeweiligen Wunschfahrlinie aus.
- Durch den Einsatz von Transportablen Schutzeinrichtungen als Fahrtrichtungstrennung kann die mittlere Unfallschwere im Vergleich zu Arbeitsstellen mit einer Fahrtrichtungstrennung durch Markierung deutlich gesenkt werden. Trotz einer höheren Unfallrate von Behelfsverkehrsführungen mit transportablen Schutzeinrichtungen liegt insgesamt die Unfallkostenrate an Arbeitsstellen mit transportablen Schutzeinrichtungen deutlich unter denen ohne transportable Schutzeinrichtung.
- Die Verkehrsführungen $3s+1$ und $4s+0$ (jeweils mit transportablen Schutzeinrichtungen) weisen beide ein ähnlich hohes Sicherheitsniveau, ausgedrückt durch die Unfallkostenrate, auf. Eine Verkehrsführung $3s+0$ hat im Vergleich dazu eine wesentlich höhere Unfallkostenrate und somit ein niedrigeres Sicherheitsniveau.

3. Eigene Untersuchungen

3.1 Untersuchungsgegenstand

Die in Kapitel 2.4 beschriebenen Wirkungszusammenhänge konnten durch die in den Kapiteln 2.5 und 2.6 dargestellten Erkenntnisse nur zum Teil näher quantifiziert werden. Um eine vergleichende Bewertung der einzelnen Behelfsverkehrsführungen vornehmen zu können, ist es jedoch erforderlich, die Wirkungen der einzelnen Varianten in erster Linie auf Verkehrsablauf und Unfallgeschehen zu quantifizieren. Diesbezüglich sind vor allem noch folgende Sachverhalte zu klären:

- Wie kann die Größe der Mindestfahrstreifenbreite bestimmt werden und wie wirkt sich die Unterschreitung dieser Breite auf Verkehrsablauf und Unfallgeschehen, aber auch auf die Belastungen des Straßenoberbaus aus?
- Welche UKR können für die verschiedenen Verkehrsführungen angesetzt werden?
- Welche Beziehungen zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit können für die verschiedene Verkehrsführungen angesetzt werden?

Es wurde versucht, diese offenen Fragen anhand von eigenen Untersuchungen zu klären und soweit möglich auf Basis der Untersuchungsergebnisse die vorhandenen Zusammenhänge zu quantifizieren. Teilweise war es allerdings erforderlich, sinnvolle Abschätzungen zu treffen, da sich auf Grund der vorliegenden Datenbasis keine eindeutigen Aussagen ableiten ließen und zusätzliche Datenerhebungen den Umfang der Arbeit gesprengt hätten.

3.2 Untersuchung der Fahrstreifenbreiten

3.2.1 Methodik

Die zur Ermittlung der Bewegungsspielräume und der Mindestfahrstreifenbreiten verwendete Methodik baut auf dem von OELLERS (1976) entwickelten Ansatz auf. In der Arbeit von OELLERS (1976) wurden Fahrzeugpositionen mittels lokaler Einmessungen bestimmt. Die Untersuchungen wurden für verschiedene Fahrstreifenbreiten durchgeführt. Folgende Fahrzeugpositionen bzw. Abstände wurden von OELLERS (1976) unter anderem bestimmt:

- seitlicher Abstand des Fahrzeuges auf dem rechten Fahrstreifen zum äußeren Randstreifen (X3)
- seitlicher Abstand des Fahrzeuges auf dem linken Fahrstreifen zum inneren Randstreifen (X13)
- seitlicher Abstand zwischen Fahrzeugen auf dem linken und rechten Fahrstreifen während Überholvorgängen (X9)

Unter Verwendung der 85%-Fraktile der Verteilungen der Abstände X3 und X13 sowie dem mittleren Fahrzeugabstand (X9) bei Überholvorgängen (Pkw überholt Lkw) ermittelte OELLERS (1976) eine erforderliche Fahrbahnbreite (Summe beider Fahrstreifenbreiten) von 6,90 m. Da etwa 30 % des seitlichen Fahrzeugabstandes X9

durch den rechten Fahrstreifen erbracht wurden, ermittelte OELLERS (1976) die erforderliche Fahrstreifenbreite des rechten Fahrstreifens zu 3,44 m.

Ferner ermittelte OELLERS (1976) für Pkw einen seitlichen Bewegungsspielraum von 0,60 m und für Lkw von 0,35 m.

Zur Ermittlung von Mindestfahrstreifenbreiten im Bereich von Behelfsverkehrsführungen wurde zunächst der Ansatz von OELLERS (1976) übernommen. Die erforderlichen Daten lieferten die aus dem Forschungsprojekt von FISCHER/BRANNOLTE (2006) vorliegenden Videoaufzeichnungen und Fahrzeugeinmessungen im Rahmen der dort durchgeführten Verfolgungsfahrten. Hierbei wurden zufällig ausgewählte Fahrzeuge während des Durchfahrens der Arbeitsstelle verfolgt und die Fahrvorgänge durch eine im folgenden Fahrzeug installierten Videokamera aufgezeichnet. Durch eine nachträgliche Einmessung der Fahrzeuge im Videobild (gemessen wurden jeweils die Reifenaußenkanten im Bereich der Fahrbahnoberfläche), konnten die Fahrzeugpositionen des überholenden Fahrzeuges sowie des linken Fahrzeugrandes des überholten Fahrzeuges während Überholvorgängen ermittelt werden. Hierzu wurden mit Hilfe des Videoauswertesystems VIVAtraffic während Überholvorgängen aus dem Videobild Einzelbilder erzeugt und in diesem Bild dann die Fahrzeugpositionen eingemessen. Die Einzelbilder wurden im Abstand von 0,25 s angefertigt, so dass zu jedem Überholvorgang eine ganze Bildsequenz zur Verfügung stand. Aus den Einmessungen der Fahrzeuge in den jeweiligen Einzelbildern ergeben sich somit detaillierte Bewegungslinien während der Überholvorgänge. Für die Auswertung wurden zur Berücksichtigung von Fahrmanövern während Überholvorgängen dementsprechend alle Abstandsmessungen, d. h. jedes Einzelbild, verwendet.

Aus den Einmessungen konnten folgende Daten, die den Datensätzen X9 und X13 nach OELLERS (1976) entsprechen, direkt ermittelt werden:

- seitlicher Abstand des Fahrzeuges auf dem linken Fahrstreifen zur transportablen Schutzeinrichtung (X13)
- seitlicher Abstand zwischen Fahrzeugen auf dem linken und rechten Fahrstreifen während Überholvorgängen (X9)

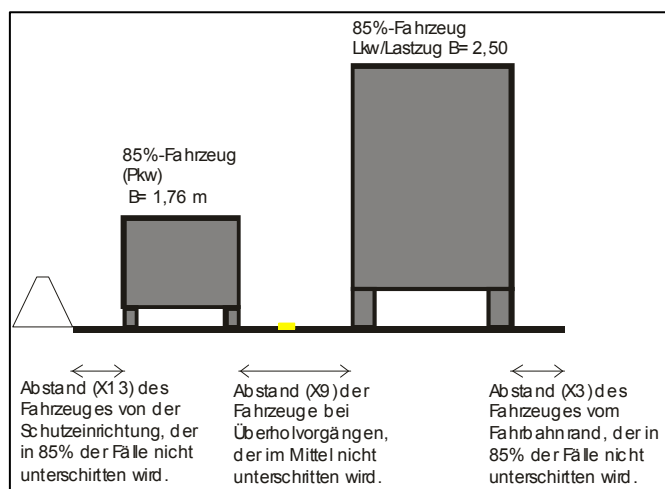


Bild 3-1: Ermittlung der Mindestfahrstreifenbreiten nach OELLERS (1976) (eigene Darstellung)

Der Abstand des überholten Fahrzeuges zum rechten Rand der befestigten Fläche (X3) konnte aufgrund der gewählten Messmethode nicht direkt aus dem Videobild gemessen werden. Aufgrund der bekannten Breite des rechten Fahrstreifens bzw. des Randstreifens und unter der Annahme einer Fahrzeugbreite von Lastzügen bzw. schweren Lkw von 2,45 m (von Reifenaußenkante zu Reifenaußenkante) konnte der Fahrzeugabstand zum rechten Rand der befestigten Fläche jedoch über den messbaren Abstand des linken Fahrzeugrandes von der Leitlinie abgeschätzt werden. Entgegen den von OELLERS (1976) durchgeführten Untersuchungen wurde als rechte Begrenzung hier nicht der Rand des Fahrstreifens gewählt sondern der Rand der befestigten Fläche, d. h. die im Bereich der Behelfsverkehrsführung vorhandenen Randstreifen mit Breiten von 0,10 m bis 1,50 m wurden mit berücksichtigt. Die Beobachtungen vor Ort zeigten, dass die Fahrstreifenbegrenzung zum Randstreifen hin häufig von Fahrzeugen des Schwerverkehrs überfahren wurde und der Randstreifen insbesondere bei Überholvorgängen als Verbreiterung des Fahrstreifens genutzt wurde.

Somit lagen alle für den von OELLERS (1976) verwendeten Ansatz zur Ermittlung der Fahrstreifenbreiten bzw. Fahrbahnbreiten erforderlichen Werte vor.

Neben dem Ansatz von OELLERS (1976) wurde im Rahmen dieser Arbeit ein weiterer Ansatz entwickelt. Dieser Ansatz geht davon aus, dass

- die Fahrzeugbreiten um die erforderlichen Bewegungsspielräume vergrößert werden und
- ein seitlicher Abstand zwischen Fahrzeug und Fahrbahnrand/transp. Schutzeinrichtung und zwischen den Fahrzeugen existiert, der von den Fahrzeugen im Regelfall nicht unterschritten wird (seitl. Mindestabstand).

Die Mindestfahrstreifenbreite ergibt sich, indem Fahrzeugbreiten, Bewegungsspielräume und die seitlichen Mindestabstände addiert werden.

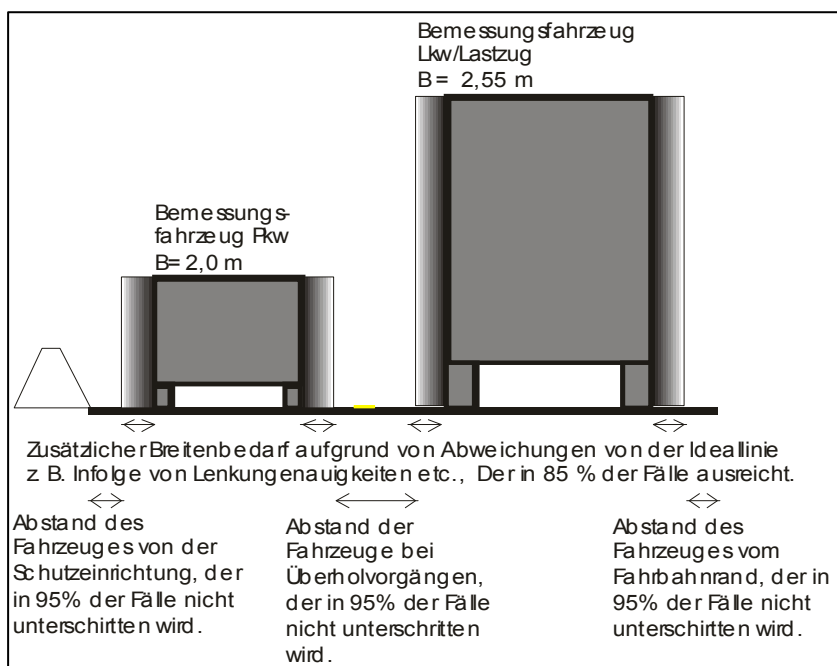


Bild 3-2: Alternativer Ansatz zur Ermittlung der Mindestfahrstreifenbreiten

Folgende Festlegungen wurden dabei getroffen:

- Als Fahrzeugbreiten werden die jeweils maximal zulässigen Fahrzeugbreiten angesetzt. Für den rechten Fahrstreifen 2,55 m, für den linken Fahrstreifen 2,0 m.
- Die für Fahrvorgänge erforderlichen Breiten sind aufgrund von Lenkungenauigkeiten etc. größer als die reinen Fahrzeugbreiten. Durch die Verfolgungsfahrten und Einzelbildauswertung lagen vergleichsweise detaillierte Fahrlinien für Überholvorgänge vor. Für jeden Überholvorgang wurde eine Wunschlinie ermittelt, indem die Lage des linken Fahrzeugrandes über alle Einzelbilder des Überholvorganges gemittelt wurde. Die tatsächliche Abweichung des linken Fahrzeugrandes von dieser Wunschlinie nach rechts bzw. links wurde für jedes Einzelbild und jeden Überholvorgang getrennt für überholendes und überholtes Fahrzeug ermittelt. Die 85 % Fraktile der Abweichungen geben dann die, zusätzlich zur Fahrzeugbreite beidseitig des Fahrzeugs zu berücksichtigenden, Bewegungsspielräume für den Fahrvorgang „Überholen“ an.
- Die ferner zu berücksichtigenden seitlichen Abstände - zur transportablen Schutzeinrichtung, zum rechten Fahrbahnrand und zwischen den Fahrzeugen - die von den Fahrzeugen während dem Überholvorgang meist nicht unterschritten wurden, ergaben sich direkt aus den Verteilungen der Fahrzeugpositionen, wie sie auch im Ansatz von OELLERS (1976) verwendet wurden. Im Gegensatz dazu wurden hier jedoch die 95 % Fraktile angesetzt, um stärker zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um Mindestmaße handelt.

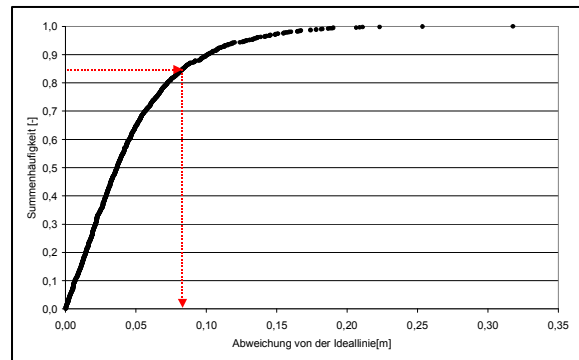


Bild 3-3: Häufigkeit der Abweichung von der Ideallinie bei Überholvorgängen, hier: Pkw, Breitenklasse 2, transportable Schutzeinrichtung

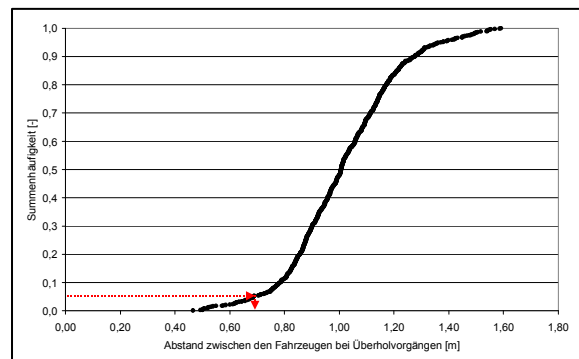


Bild 3-4: Häufigkeit der Fahrzeugabstände bei Überholvorgängen, hier: Breitenklasse 2, transportable Schutzeinrichtung

3.2.2 Ergebnisse

Datengrundlage

Für die Auswertung von Überholvorgängen – Pkw überholt Lkw/Lastzug - wurden Daten aus dem Forschungsprojekt FISCHER/BRANNOLTE (2006) verwendet. Die Verfolgungsfahrten wurden in verschiedenen Messstrecken mit unterschiedlichen Verkehrsführungen und Trennungssystemen durchgeführt. Für die hier erforderliche Auswertung wurden nur Behelfsverkehrsführungen mit einer Trennung durch trans-

portable Schutzeinrichtungen sowie zwei auf einer Fahrbahn geführten Fahrstreifen, bei Verkehrsführung 4s+0 in beiden Richtungen, bei Verkehrsführung 3s+1 in einer Richtung, betrachtet. Die jeweiligen Charakteristika der Behelfsverkehrsführungen können dem Anhang, Anlage 8 entnommen werden.

Die Messstrecken haben verschiedene Fahrstreifenbreiten und Randstreifenbreiten. Somit wurden zum einen die Fahrstreifenbreiten des einzelnen Fahrstreifens betrachtet, als auch die Breite der beiden Fahrstreifen insgesamt. Um die Klassenzahl nicht zu groß werden zu lassen, wurden für die Gesamtfahrstreifenbreite, resultierend aus der Summe beider Fahrstreifenbreiten, drei Breitenklassen (BKL) gebildet.

- Breitenklasse 1: < 5,60 m
- Breitenklasse 2: 5,60 m bis 6,10 m
- Breitenklasse 3 : über 6,10 m

Die Breite eines vorhandenen Randstreifens wurde zunächst nicht berücksichtigt, da dieser eigentlich nicht Bestandteil der Fahrbahn ist und demnach auch nicht für Fahrvorgänge zur Verfügung stehen soll. In der Praxis wurde jedoch beobachtet, dass insbesondere bei geringen Fahrstreifenbreiten der vorhandene Randstreifen regelmäßig durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs auf dem rechten Fahrstreifen mitbenutzt wird.

Insgesamt wurden 132 Überholvorgänge, bei denen ein Pkw auf dem linken Fahrstreifen einen Lkw oder Lastzug auf dem rechten Fahrstreifen überholt, ausgewertet. Aus diesen Überholvorgängen wurden in jeweils 0,25 s Abstand insgesamt 1884 einzelne Messpunkte ausgewertet. Die Anzahl der Überholvorgänge und Messpunkte je Breitenklasse kann Tabelle 3-1 entnommen werden.

| BKL | Überholvorgänge | Messpunkte |
|-----|-----------------|------------|
| 1 | 27 | 366 |
| 2 | 56 | 823 |
| 3 | 49 | 695 |

Tabelle 3-1: Anzahl der ausgewerteten Überholvorgänge bzw. Messpunkte je Breitenklasse

Messergebnisse

| Breitenklasse bzw. Fahr- streifenbreite | Bewegungsspielraum [m] der in x% der Fälle nicht überschritten wird. | | |
|---|---|------|------|
| | Pkw | | |
| | 50% | 85% | 95% |
| BKL 1 | 0,06 | 0,14 | 0,29 |
| BKL 2 | 0,04 | 0,08 | 0,13 |
| BKL 3 | 0,04 | 0,09 | 0,13 |
| 2,50 m | 0,05 | 0,11 | 0,18 |
| 2,60 m | 0,03 | 0,07 | 0,11 |
| 2,75 m | 0,03 | 0,07 | 0,11 |
| 3,00 m | 0,04 | 0,09 | 0,13 |
| 3,20 m | 0,05 | 0,09 | 0,11 |

| Breitenklasse bzw. Fahr- streifenbreite | Bewegungsspielraum [m] der in x% der Fälle nicht überschritten wird. | | |
|---|---|------|------|
| | Lkw / Lastzug | | |
| | 50% | 85% | 95% |
| BKL 1 | 0,05 | 0,12 | 0,16 |
| BKL 2 | 0,04 | 0,11 | 0,16 |
| BKL 3 | 0,03 | 0,08 | 0,13 |
| 3,00 m | 0,05 | 0,12 | 0,16 |
| 3,15 m | 0,04 | 0,10 | 0,17 |
| 3,25 m | 0,04 | 0,10 | 0,13 |
| 3,50 m | 0,05 | 0,11 | 0,17 |
| 3,75 m | 0,03 | 0,07 | 0,13 |

Tabelle 3-2: seitliche Bewegungsspielräume (Fahrzeugabweichungen von der Wunschfahrlinie nach links und rechts) bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten bzw. Breitenklassen

Die Messergebnisse zeigen, dass der Bewegungsspielraum von Pkw auf dem linken Fahrstreifen von der Fahrstreifenbreite beeinflusst wird. Dies geschieht aber dahin-

gehend, dass bei geringen Fahrstreifenbreiten der Bewegungsspielraum, der zum Ausgleich von Lenkungenauigkeiten etc. benötigt wird, größer wird. In 85 % der Fälle reichen bei einer Fahrstreifenbreite von 2,50 m Bewegungsspielräume von 0,11 m nach rechts und links aus, bei größeren Fahrstreifenbreiten sind 0,07 m bis 0,09 m erforderlich. Berücksichtigt man nicht nur die Breite des linken Fahrstreifens sondern die Gesamtbreite des linken und rechten Fahrstreifens wird die Tendenz bestätigt, dass bei geringen Breiten ein größerer Bewegungsspielraum benötigt wird. In 85 % der Fälle reicht hier ein seitlicher Bewegungsspielraum von 0,14 m zu jeder Seite aus, bei den Breitenklassen 2 und 3 sind es 0,08 bis 0,09 m.

Der erforderliche Bewegungsspielraum für Lkw wird im Bereich von Fahrstreifenbreiten von 3,00 m bis 3,50 m bzw. der Breitenklassen I und II nicht von der Fahrstreifenbreite beeinflusst. Hier liegt der seitliche Bewegungsspielraum der in 85 % der Fälle ausreicht bei 0,10 bis 0,12 m. Lediglich bei großen Breiten $B = 3,75$ m bzw. Breitenklasse 3 nimmt der erforderliche Bewegungsspielraum ab und liegt dann bei 0,07 bis 0,08 m

| X13 Breitenklasse bzw. Fahr- streifenbreite | Abstand von der Schutzeinrichtung [m] der in x% der Fälle unterschritten wird. | | |
|--|---|------|------|
| | Pkw | | |
| | 50% | 15% | 5% |
| BKL 1 | 0,44 | 0,26 | 0,20 |
| BKL 2 | 0,54 | 0,38 | 0,30 |
| BKL 3 | 0,74 | 0,59 | 0,50 |
| 2,50 m | 0,51 | 0,35 | 0,24 |
| 2,60 m | 0,55 | 0,33 | 0,28 |
| 2,75 m | 0,51 | 0,36 | 0,30 |
| 3,00 m | 0,71 | 0,57 | 0,49 |
| 3,20 m | 0,90 | 0,76 | 0,69 |

| X16 Breitenklasse bzw. Fahr- streifenbreite | Abstand von der Leitlinie [m] der in x% der Fälle unterschritten wird. | | |
|--|---|------|------|
| | Pkw | | |
| | 50% | 15% | 5% |
| BKL 1 | 0,38 | 0,22 | 0,12 |
| BKL 2 | 0,37 | 0,17 | 0,10 |
| BKL 3 | 0,60 | 0,45 | 0,33 |
| 2,50 m | 0,33 | 0,16 | 0,09 |
| 2,60 m | 0,43 | 0,27 | 0,16 |
| 2,75 m | 0,52 | 0,29 | 0,10 |
| 3,00 m | 0,58 | 0,45 | 0,30 |
| 3,20 m | 0,69 | 0,41 | 0,38 |

Tabelle 3-3: seitliche Abstände zur Schutzeinrichtung bzw. zur Leitlinie bei Pkw auf dem linken Fahrstreifen bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten bzw. Breitenklassen

Pkw auf dem linken Fahrstreifen halten bei Überholvorgängen zur transportablen Schutzeinrichtung je nach Fahrstreifenbreite in 50 % der Fälle einen Abstand von 0,51 bis 0,90 m ein. Ein Abstand von ca. 0,35 m wird bei Fahrstreifenbreiten von 2,50 m bis 2,75 m in 15 % der Fälle unterschritten, in 5 % der Fälle werden bei diesen Fahrstreifenbreiten Abstände von 0,24 bis 0,30 m unterschritten. Erst ab Fahrstreifenbreiten von 3,00 m ergeben sich deutlich größere Abstände. Betrachtet man die Breiten des linken Fahrstreifens nicht allein, sondern die Gesamtfahrstreifenbreiten des linken und rechten Fahrstreifens, wird die Abhängigkeit der Abstände von den Fahrstreifenbreiten deutlicher. Bei BKL 1 werden in 15 % der Fälle 0,26 m Abstand und in 5 % der Fälle 0,20 m Abstand von der transportablen Schutzeinrichtung unterschritten.

Der Abstand zur Leitlinie zwischen beiden Fahrstreifen nimmt tendenziell mit zunehmender Breite des linken Fahrstreifens ebenfalls zu. So werden bei einer Breite von 2,50 m in 15 % der Fälle 0,16 m unterschritten bei Breiten von 3,00 m bzw. 3,20 m werden 0,45 bzw. 0,41 m unterschritten.

Bei Betrachtung der Breitenklassen, liegen die Abstände für BKL 1 und BKL 2 auf demselben Niveau, in 15 % der Fälle wird ein Abstand von ca. 0,20 m in 5 % der Fäl-

le von ca. 0,11 m unterschritten. Bei Breiten der Klasse 3 werden deutlich größere seitliche Abstände eingehalten.

Lkw auf dem rechten Fahrstreifen nutzen bei geringen Fahrstreifenbreiten ($B = 3,0$ m bzw. BKL 1 und 2) bei Überholvorgängen die gesamte befestigte Fläche aus. In 5 % der Fälle werden Abstände von 0,03 m zum rechten Rand der befestigten Fläche unterschritten. In diesen Fällen wird auch die rechte Fahrstreifenbegrenzungslinie von den Fahrzeugen des Schwerverkehrs überfahren. Bei größeren Fahrstreifenbreiten und Seitenstreifen mit einer Breite von mehr als 0,5 m wird die rechte Fahrstreifenbegrenzung ebenfalls häufig überfahren. Hierauf sind die teilweise negativen bzw. sehr geringen Breiten auch bei großen Fahrstreifenbreiten zurückzuführen.

Der Abstand von der Leitlinie, die beide Fahrstreifen trennt, erweist sich für Fahrstreifenbreiten von 3,00 bis 3,50 m bzw. Breitenklassen von BKL 1 und BKL 2 als vergleichsweise unabhängig von den jeweiligen Breiten. In diesem Breitenbereich werden in 15 % der Fälle Abstände von ca. 0,48 m und in 5 % der Fälle von ca. 0,37 m unterschritten.

| X3 Breitenklasse bzw. Fahr- streifenbreite | Abstand vom Fahrbahnrand [m] der in x% der Fälle unterschritten wird. | | |
|---|--|------|-------|
| | Lkw/Lastzug | | |
| | 50% | 15% | 5% |
| BKL 1 | 0,43 | 0,21 | 0,03 |
| BKL 2 | 0,46 | 0,26 | 0,03 |
| BKL 3 | 0,31 | 0,06 | -0,14 |
| 3,00 m | 0,43 | 0,21 | 0,03 |
| 3,15 m | 0,51 | 0,30 | 0,22 |
| 3,25 m | 0,22 | 0,03 | -0,18 |
| 3,50 m | 0,43 | 0,16 | 0,03 |
| 3,75 m | 0,51 | 0,35 | 0,28 |

| X6 Breitenklasse bzw. Fahr- streifenbreite | Abstand von der Leitlinie [m] der in x% der Fälle unterschritten wird. | | |
|---|---|------|------|
| | Lkw/Lastzug | | |
| | 50% | 15% | 5% |
| BKL 1 | 0,62 | 0,49 | 0,35 |
| BKL 2 | 0,62 | 0,46 | 0,38 |
| BKL 3 | 0,72 | 0,55 | 0,40 |
| 3,00 m | 0,62 | 0,49 | 0,35 |
| 3,15 m | 0,64 | 0,48 | 0,40 |
| 3,25 m | 0,65 | 0,49 | 0,40 |
| 3,50 m | 0,64 | 0,47 | 0,41 |
| 3,75 m | 0,78 | 0,65 | 0,29 |

Tabelle 3-4: seitliche Abstände zur Schutteinrichtung bzw. zur Leitlinie bei Lkw/LZ auf dem rechten Fahrstreifen bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten bzw. Breitenklassen

| X9 Breitenklasse bzw. Fahr- streifenbreite | Abstand der Fahrzeuge [m] der in x% der Fälle unterschritten wird. | | |
|---|---|------|------|
| | Lkw/Lastzug | | |
| | 50% | 15% | 5% |
| BKL 1 | 1,00 | 0,83 | 0,73 |
| BKL 2 | 1,01 | 0,83 | 0,69 |
| BKL 3 | 1,33 | 1,13 | 0,98 |

Tabelle 3-5: seitliche Abstände zwischen Fahrzeugen auf dem linken (Pkw) und rechten (Lkw/LZ) Fahrstreifen bei unterschiedlichen Breitenklassen

Der seitliche Abstand der beiden am Überholvorgang beteiligten Fahrzeuge untereinander beträgt im Mittel für die BKL 1 und 2 ca. 1,00 m. In 15 % der Fälle wird ein Abstand von 0,83 m und in 5 % der Fälle ein Abstand von ca. 0,70 m unterschritten. Für Breitenklasse 3 wurden etwa um ein Drittel größere Abstände ermittelt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die seitlichen Abstände bzw. erforderlichen Bewegungsspielräume für Pkw wesentlich stärker von den Fahrstreifenbreiten beeinflusst werden als die der Lkw bzw. Lastzüge. Pkw benötigen bei sehr geringen Fahrstreifenbreiten einen größeren Bewegungsspielraum zum Ausgleich von Lenk-

ungenauigkeiten. Bei geringeren Fahrstreifenbreiten müssen aufgrund der geringen Breite und der größeren Bewegungsspielräume daher zur transportablen Schutzzeineinrichtung bzw. zu Leitlinien geringere Abstände eingehalten werden. Lkw bzw. Lastzüge gleichen geringere Fahrstreifenbreiten dadurch aus, dass insbesondere der Abstand zum rechten Rand der befestigten Fläche reduziert wird, gegebenenfalls werden vorhanden Randstreifen vollständig für die Fahrmanöver mitbenutzt.

Hinsichtlich der Beeinflussung der Messergebnisse durch die Fahrzeuggeschwindigkeit kann auf Basis der vorliegenden Daten festgestellt werden, dass augenscheinlich kein maßgeblicher Zusammenhang zwischen den seitlichen Abständen der Fahrzeuge und den Abweichungen der Fahrzeuge von der Ideallinie besteht.

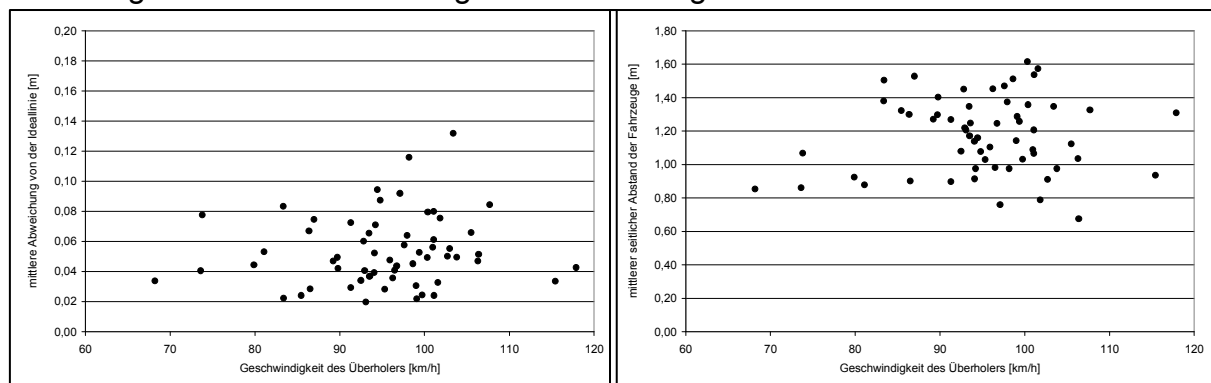


Bild 3-5: Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit auf die mittleren Abweichungen von der Ideallinie (linkes Diagramm) und auf die mittleren seitlichen Abstände (rechtes Diagramm)

3.2.3 Ableitung von Mindestfahrstreifenbreiten

Zunächst soll abgeschätzt werden, welche Breite beide Behelfsfahrstreifen insgesamt aufweisen müssen. Nach dem von OELLERS (1976) entwickelten Ansatz sind hierzu die 85 % Quantile der Abstände zum Fahrbahnrand bzw. zur Mitteltrennung, der mittlere Abstand der Fahrzeuge und die Fahrzeugbreiten zu addieren. Als Fahrzeugbreiten wurden jeweils die Bemessungsfahrzeugbreiten für Lkw/Lastzug bzw. Pkw angesetzt. Diese Breite repräsentiert das sogenannte 85 %-Fahrzeug. [Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen, FGSV, 2001] Für Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen wurde daher bei der Berechnung nach dem Verfahren von OELLERS (1976) eine Fahrzeugbreite von 1,76 m (entspricht Pkw) und 2,50 m für den rechten Fahrstreifen (Lkw) angesetzt.

Hieraus ergeben sich unter Ansatz der in 3.2.2 dargestellten Werte die in Tabelle 3-6 angegebenen Gesamtbreiten des linken und rechten Behelfsfahrstreifens.

Bei dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten und in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Ansatzes wurden für die seitlichen Abstände bzw. die Bewegungsspielräume die in 3.2.2 angegebenen Werte verwendet. Dieser Berechnungsansatz wird nachfolgend vereinfachend als „Alternativ“ bezeichnet. Als Fahrzeugbreiten wurden bei diesem Ansatz die nach StVZO zulässigen Fahrzeugbreiten von 2,55 m für Lkw/Lastzug für den rechten Fahrstreifen und für den linken Fahrstreifen entsprechend der Beschilderung eine Fahrzeugbreite von 2,0 m angenommen. Die hieraus ermittelten Gesamtfahrstreifenbreiten sind in Tabelle 3-6 angegeben.

| | Gesamtfahrstreifenbreite [m], Berechnungsansatz nach | |
|-------|---|------------|
| | Oellers | Alternativ |
| BKL 1 | 5,74 | 5,78 |
| BKL 2 | 5,90 | 5,76 |
| BKL 3 | 6,24 | 6,06 |

Tabelle 3-6: rechnerische Mindestgesamtfahrstreifen für Behelfsverkehrsführungen in Abhängigkeit der Breitenklasse

OELLERS (1976) die rechnerisch erforderliche Gesamtfahrstreifenbreite mit größeren vorhandenen Fahrstreifenbreiten zunimmt, werden nach dem hier entwickelten alternativen Ansatz für BKL 1 und BKL 2 mit 5,78 m und 5,76 m quasi übereinstimmende Breiten ermittelt. Für BKL 3 weist auch der hier entwickelte Ansatz eine größere rechnerische Breite auf, die jedoch nicht die Größe der nach OELLERS (1976) be-

| Breitenklasse bzw. Fahrstreifen- breite | Mindestfahrstreifenbreite [m], linker Fahrstreifen, Berechnungsansatz nach | |
|--|--|------------|
| | Oellers | Alternativ |
| BKL 1 | 2,40 | 2,62 |
| BKL 2 | 2,52 | 2,57 |
| BKL 3 | 2,96 | 3,00 |
| 2,50 m | 2,44 | 2,56 |
| 2,60 m | 2,52 | 2,58 |
| 2,75 m | 2,64 | 2,54 |
| 3,00 m | 2,91 | 2,97 |
| 3,20 m | 3,20 | 3,25 |

Tabelle 3-7: Rechnerische Mindestfahrstreifenbreite des linken Fahrstreifens bei unterschiedlichen Breitenklassen und Fahrstreifenbreiten

rechneten Mindestbreite aufweist. Betachtet man nicht die erforderlichen Gesamtfahrstreifenbreiten sondern jeden Fahrstreifen separat, ergeben sich die in Tabelle 3-7 dargestellten Ergebnisse. Für Breitenklasse 1 werden durch die beiden Ansätze mit 2,40 m bzw. 2,62 m deutlich unterschiedliche rechnerische Mindestfahrstreifenbreiten ermittelt. Bei den BKL 2 und 3 werden diese Unterschiede deutlich geringer. Generell werden mit den Verfahren von OELLERS (1976) jedoch geringere Mindestfahrstreifenbreiten ermittelt, wobei darauf hingewiesen wird, dass beim Verfahren von OELLERS (1976) nicht mit der maximal zulässigen Fahrzeugbreite von 2,0 m sondern mit der Breite des 85%-Fahrzeuges von 1,76 m gerechnet wird.

Werden nicht Breitenklassen sondern die Breiten des linken Fahrstreifens betrachtet, ergibt sich tendenziell ein ähnliches Bild. Die ermittelten Mindestbreiten sind beim Verfahren nach OELLERS (1976) geringer, die Differenzen zum hier entwickelten Verfahren nehmen mit zunehmender Fahrstreifenbreite tendenziell ab. Ferner ist festzustellen, dass die durch das hier entwickelte alternative Verfahren ermittelten Mindestfahrstreifenbreiten im Bereich von Fahrstreifenbreiten von 2,50 m bis 2,75 m übereinstimmend Werte von etwa 2,55 m aufweisen.

Insgesamt werden durch die Berechnungsergebnisse die in den RSA angegebenen Mindestfahrstreifenbreiten für den linken Fahrstreifen bestätigt.

Beide Berechnungsansätze liefern für BKL 1 nahezu identische erforderliche Fahrstreifenbreiten von 5,74 m bzw. 5,78 m. Diese Maße entsprechen in etwa der Summe der in den RSA 95 [BMVBW 1995] geforderten Mindestfahrstreifenbreiten von 2,50 m und 3,25 m. Während entsprechend des Ansatzes von OEL-

lers (1976) die rechnerisch erforderliche Gesamtfahrstreifenbreite mit größeren vorhandenen Fahrstreifenbreiten zunimmt, werden nach dem hier entwickelten alternativen Ansatz für BKL 1 und BKL 2 mit 5,78 m und 5,76 m quasi übereinstimmende Breiten ermittelt. Für BKL 3 weist auch der hier entwickelte Ansatz eine größere rechnerische Breite auf, die jedoch nicht die Größe der nach OELLERS (1976) be-

rechneten Mindestbreite aufweist. Betachtet man nicht die erforderlichen Gesamtfahrstreifenbreiten sondern jeden Fahrstreifen separat, ergeben sich die in Tabelle 3-7 dargestellten Ergebnisse.

Für Breitenklasse 1 werden durch die beiden Ansätze mit 2,40 m bzw. 2,62 m deutlich unterschiedliche rechnerische Mindestfahrstreifenbreiten ermittelt. Bei den BKL 2 und 3 werden diese Unterschiede deutlich geringer. Generell werden mit den Verfahren von OELLERS (1976) jedoch geringere Mindestfahrstreifenbreiten ermittelt, wobei darauf

| Breitenklasse bzw. Fahrstreifen- breite | Mindestfahrstreifenbreite [m], rechter Fahrstreifen, Berechnungsansatz nach | |
|--|---|------------|
| | Oellers | Alternativ |
| BKL 1 | 3,33 | 3,17 |
| BKL 2 | 3,37 | 3,17 |
| BKL 3 | 3,27 | 2,98 |
| 3,00 m | 3,33 | 3,17 |
| 3,15 m | 3,44 | 3,36 |
| 3,25 m | 3,18 | 2,96 |
| 3,50 m | 3,29 | 3,21 |
| 3,75 m | 3,64 | 3,25 |

Tabelle 3-8: Rechnerische Mindestfahrstreifenbreite des rechten Fahrstreifens bei unterschiedlichen Breitenklassen und Fahrstreifenbreiten

Für den rechten Fahrstreifen wurden die in Tabelle 3-8 angegebenen Mindestfahrstreifenbreiten ermittelt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die rechnerisch erforderliche Mindestfahrstreifenbreite für den rechten Fahrstreifen in wesentlich geringerem Maße von der vorhandenen Breite beeinflusst wird. Das Berechnungsverfahren von OELLERS (1976) liefert dabei tendenziell größere Mindestbreiten als das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren. Während für die Breitenklassen 1, 2 und 3 nach OELLERS (1976) im

Mittel eine Breite von 3,32 m erforderlich ist, liefert das hier entwickelte, alternative Verfahren eine Breite von 3,17 für die Breitenklassen 1 und 2 und 2,98 für die Breitenklasse 3.

Bei der alternativen Berechnungsmethode werden nahezu unabhängig von der vorhandenen Fahrstreifenbreite rechnerische Mindestbreiten von ca. 3,25 m ermittelt. Lediglich der Wert für die Breite von 3,25 m weicht davon deutlich nach unten ab.

Mit dem Verfahren nach OELLERS (1976) werden generell größere Werte ermittelt, die auch wesentlich stärker streuen und im Bereich von 3,18 m bis 3,64 m liegen.

Insgesamt deuten die Berechnungsergebnisse jedoch darauf hin, dass Lkw auf dem rechten Fahrstreifen eine Fahrstreifenbreite von mindestens 3,20 m benötigen. Somit wird die in den RSA-95 [BMVBW 1995] angegebene Mindestfahrstreifenbreite für den rechten Fahrstreifen von 3,25 m bestätigt.

Aufgrund der rechnerisch ermittelten Mindestfahrstreifenbreiten für den linken und den rechten Fahrstreifen sowie der ermittelten Gesamtfahrstreifenbreite ist es nicht sinnvoll, die in den RSA-95 [BMVBW 1995] angegebenen Mindestfahrstreifenbreiten zu unterschreiten.

Die Berechnungsergebnisse, insbesondere nach dem hier entwickelten Ansatz, zeigen, dass die rechnerischen Mindestbreiten für geringe Fahrstreifenbreiten bzw. für die Breitenklassen 1 und 2 annähernd identische Werte liefern. So ergibt sich beispielsweise bei einer Verminderung der Breite des linken Fahrstreifens von 2,75 m auf 2,50 m keine wesentliche Änderung der rechnerischen Mindestfahrstreifenbreite. Es ist also davon auszugehen, dass ab einer Fahrstreifenbreite von 2,75 m das Minimum der für die Fahrvorgänge erforderlichen Breite mit ca. 2,55 m erreicht ist. Das heißt, dass in diesem Fall die Möglichkeiten des Fahrers, den Breitenbedarf seines Fahrzeuges zu minimieren, erschöpft sind. Ebendies gilt auch für Behelfsverkehrsführungen der Breitenklassen 1 und 2. Auch hier scheint das fahrerische Ausgleichspotenzial der Kraftfahrer weitgehend ausgeschöpft. Eine Verminderung der Fahrstreifenbreiten unter die ermittelten rechnerischen Mindestbreiten müsste demnach über ein anderes Spurverhalten ausgeglichen werden, d. h. breitere Fahrzeuge bzw. Fahrer, die einen größeren Bewegungsspielraum benötigen, werden dann Überholvor-

gänge nicht mehr durchführen und auf dem rechten Fahrstreifen verbleiben. Dies kann aus Sicht des Verkehrsablaufes, insbesondere im Bereich hoher Verkehrsstärken, nicht gewünscht sein.

Hinsichtlich des Einflusses weiterer Randbedingungen z. B. der Straßenausstattung auf die Messergebnisse gilt, dass an allen Messstrecken ähnliche Bedingungen vorlagen. Dies gilt insbesondere für Art und Zustand der Fahrbahnoberflächen, den Fahrbahnmarkierungen, der Ausstattung mit Beschilderung und Leiteinrichtungen sowie den Witterungsbedingungen. Mögliche Einflüsse hieraus auf die Messergebnisse wurden daher vernachlässigt.

3.3 Auswirkungen auf das Unfallgeschehen

3.3.1 Struktur der Unfälle

Unfalltypen

Sowohl bei der Verkehrsführung 4s+0 als auch bei 3s+1 stellt der Unfalltyp 6 „Unfall im Längsverkehr“ den hauptsächlich, in etwa 2/3 der Fälle, auftretenden Unfalltyp dar. Danach folgen die Unfalltypen 1 „Fahrerunfall“ und 7 „sonstiger Unfall“. Bei einer Verkehrsführung 4s+0 weisen dabei die Trennungssysteme „Markierung“ und „transportable Schutzzeineinrichtung“ eine ähnliche Verteilung der Anteile der Unfalltypen auf.

Bei der Verkehrsführung 3s+1 liegt der Anteil des Unfalltyps 6 mit 73% bei Arbeitsstellen mit dem Trennungssystem „Markierung“ deutlich höher als an Arbeitsstellen mit anderen Trennungssystemen, die einen Anteil von 81% bzw. 65% aufweisen. Der Unfalltyp 7 hat bei Arbeitsstellen mit Verkehrsführung 3s+1 eine etwas größere Bedeutung als an Arbeitsstellen mit Verkehrsführung 4s+0.

Ein Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die Verteilung der Unfälle auf die Unfalltypen scheint gering, jedenfalls ist keine eindeutige Tendenz abzulesen. Sowohl bei schmalen als auch bei breiten Behelfsfahrstreifen bleibt der Unfalltyp 6 mit einem Anteil von ca. 70 % bestimmend.

Auch bei der Verkehrsführung 3+0 bleibt die Rangfolge der Unfalltypen hinsichtlich ihrer Häufigkeit unverändert. Allerdings wird der Unfalltyp 6 tendenziell seltener angegeben als bei den anderen untersuchten Verkehrsführungen. Es ist hier mit einer Verschiebung der Unfälle hin zum Unfalltyp 1 festzustellen, der eine wesentlich stärkere Bedeutung bekommt. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt darin, dass Überholvorgänge aufgrund der Verkehrsführung mit nur einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung verhindert werden und somit Unfälle die im Zusammenhang mit Überholmanövern stehen (z. B. seitliche Kollisionen) nicht auftreten.

| Verkehrsführung | Trennungssystem | Breitenklasse | Anteil der Unfalltypen an allen ausgewerteten Unfällen | | | Unfallanzahl n |
|-----------------|-----------------|---------------|--|-------------|-------------|----------------|
| | | | Unfalltyp 1 | Unfalltyp 6 | Unfalltyp 7 | |
| 3s+0 | TSE | alle | 28 % | 58 % | 14 % | 60 |
| 3s+1 | Mar | alle | 16 % | 73 % | 11 % | 100 |
| | TSE | 1 | 17 % | 68 % | 15 % | 41 |
| | | 2 | 10 % | 72 % | 17 % | 29 |
| | | 3 | 7 % | 89 % | 4 % | 27 |
| | | keine Angabe | 20 % | 63 % | 16 % | 684 |
| | | alle | 19 % | 65 % | 16 % | 781 |
| 4s+0 | Mar | 1 | 18 % | 64 % | 18 % | 11 |
| | | 2 | 5 % | 87 % | 8 % | 140 |
| | | 3 | 26 % | 66 % | 8 % | 338 |
| | | keine Angabe | 28 % | 56 % | 16 % | 330 |
| | | alle | 23 % | 66 % | 11 % | 819 |
| | TSE | 1 | 25 % | 69 % | 6 % | 16 |
| | | 2 | 10 % | 79 % | 11 % | 183 |
| | | 3 | 25 % | 67 % | 9 % | 392 |
| | | keine Angabe | 20 % | 69 % | 11 % | 1710 |
| | | alle | 20 % | 69 % | 11 % | 2301 |

Tabelle 3-9: Unfalltypen nach Verkehrsführung, Trennungssystem und Breitenklasse (BKL):
Mar – Fahrtrichtungstrennung durch Markierung, TSE – transportable Schutzeinrichtung

Unfallart

Die Unfallarten 2 („Zusammenstoß mit Fahrzeug das vorausfährt/wartet“) und 3 („Zusammenstoß mit Fahrzeug das seitlich in gleicher Richtung fährt“) werden unabhängig von der Verkehrsführung und dem Trennungssystem am häufigsten angegeben, danach folgt mit meist größerem Abstand die Unfallart 8 („Abkommen von der Fahrbahn nach rechts“). Bei der Verkehrsführung 4s+0 tritt Unfallart 3 mit einem Anteil von 38% häufiger auf als Unfallart 2 mit einem Anteil von 29%. Im Gegensatz dazu sind deutliche Unterschiede beim Trennungssystem „Markierung“ zu erkennen. Hier wird die Unfallart 2 in 32% der Unfälle und Unfallart 3 in 25% der Unfälle genannt.

Diese Tendenzen sind bei der Verkehrsführung 3s+1 nicht zu erkennen. Hier hat die Unfallart 2 mit einem Anteil von 37% bis 46% generell eine größere Bedeutung als die Unfallart 3. Hier wirkt sich möglicherweise aus, dass in einer Fahrtrichtung keine Überholungen durchgeführt werden können und somit auch keine Unfälle z. B. in Form von seitlichem Streifen entstehen.

Die Unfallart 4 „Kollision mit Fahrzeug das entgegenkommt“ tritt im Wesentlichen nur in Arbeitsstellen auf, bei denen die Trennung mittels Markierung erfolgt. Die Trennung der Gegenverkehre durch transportable Schutzeinrichtungen bewirkt, dass Kollisionen mit entgegenkommenden Fahrzeugen nachweislich deutlich seltener auftreten, wenngleich sie auch mit transportablen Schutzeinrichtungen nicht vollständig verhindert werden können, vgl. FISCHER/BRANNOLTE (2006).

| Verkehrsführung | Trennungssystem | Breitenklasse | Anteil der Unfallarten an allen ausgewerteten Unfällen | | | | | | | | Unfallanzahl n |
|-----------------|-----------------|---------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| | | | Uart 1 | Uart 2 | Uart 3 | Uart 4 | Uart 7 | Uart 8 | Uart 9 | Uart 0 | |
| 3s+0 | TSE | alle | 19 % | 37 % | 9 % | 0 % | 7 % | 16 % | 4 % | 7 % | 60 |
| 3s+1 | Mar | alle | 7 % | 39 % | 21 % | 5 % | 1 % | 8 % | 7 % | 11 % | 100 |
| | TSE | 1 | 0 % | 20 % | 50 % | 0 % | 8 % | 18 % | 0 % | 5 % | 41 |
| | | 2 | 6 % | 44 % | 22 % | 0 % | 6 % | 11 % | 0 % | 11 % | 29 |
| | | 3 | 11 % | 63 % | 11 % | 0 % | 4 % | 0 % | 4 % | 7 % | 28 |
| | | keine Angabe | 1 % | 36 % | 27 % | 0 % | 6 % | 17 % | 11 % | 1 % | 644 |
| | | alle | 2 % | 37 % | 27 % | 0 % | 6 % | 17 % | 10 % | 1 % | 742 |
| 4s+0 | Mar | 1 | 0 % | 45 % | 27 % | 0 % | 18 % | 9 % | 0 % | 0 % | 11 |
| | | 2 | 15 % | 21 % | 42 % | 1 % | 1 % | 8 % | 3 % | 9 % | 140 |
| | | 3 | 12 % | 49 % | 13 % | 0 % | 4 % | 7 % | 4 % | 11 % | 338 |
| | | keine Angabe | 3 % | 20 % | 30 % | 3 % | 8 % | 22 % | 8 % | 7 % | 330 |
| | | alle | 9 % | 32 % | 25 % | 1 % | 5 % | 13 % | 5 % | 9 % | 819 |
| | TSE | 1 | 0 % | 20 % | 53 % | 0 % | 0 % | 20 % | 0 % | 7 % | 16 |
| | | 2 | 4 % | 42 % | 36 % | 0 % | 6 % | 4 % | 3 % | 4 % | 183 |
| | | 3 | 7 % | 52 % | 17 % | 0 % | 3 % | 7 % | 4 % | 8 % | 331 |
| | | keine Angabe | 2 % | 20 % | 44 % | 0 % | 5 % | 15 % | 7 % | 7 % | 1710 |
| | | alle | 3 % | 29 % | 38 % | 0 % | 4 % | 12 % | 6 % | 7 % | 2301 |

Tabelle 3-10: Unfallarten nach Verkehrsführung, Trennungssystem und Breitenklasse (BKL): Abk.: TSE – Transportable Schutzzeineinrichtung; Mar – Markierung

Unabhängig von der Verkehrsführung kann festgestellt werden, dass sich die Fahrstreifenbreiten deutlich auf die Verteilung der Unfallarten auswirkt. Besonders deutlich wird dies bei Arbeitsstellen mit dem Trennungssystem „Transportable Schutzzeineinrichtung“. Mit zunehmender Fahrstreifenbreite nimmt der Anteil der Unfälle der Unfallart 2 ab, dementsprechend nimmt der Anteil der Unfallart 3 zu. Dies bestätigt die Vermutung, dass es bei geringeren Fahrstreifenbreiten vergleichsweise häufiger zu Unfällen kommt, bei denen nebeneinander fahrende Fahrzeuge miteinander kollidieren. Für die anderen Unfallarten ist keine eindeutige Tendenz abzulesen.

Bei den Verkehrsführungen 2+0 und 3+0 ist festzustellen, dass die Unfallart 3 vermutlich auf Grund der eingeschränkten Überholmöglichkeiten bei diesen Verkehrsführungen wesentlich seltener registriert wird und die Unfallart 1, insbesondere bei der Verkehrsführung 3+0 sehr viel häufiger auftritt. Bei Verkehrsführung 2+0 werden die Unfallarten 7 („Aufprall auf Hindernis auf der Fahrbahn“), 9 („Abkommen von der Fahrbahn nach links“) und 0 („Unfall anderer Art“) deutlich häufiger registriert.

Unfallursachen

Hauptunfallursachen sind unabhängig von der Verkehrsführung, dem Trennungssystem und der Fahrstreifenbreiten

- „13“ – nicht angepasste Geschwindigkeit,
- „14“ – nicht ausreichender Sicherheitsabstand und
- „49“ – andere Fehler beim Fahrzeugführer.

Weitere Unfallursachen haben eine weitaus geringere Bedeutung. Ein Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die Aufteilung der Unfallursachen ist nicht zu erkennen.

3.3.2 Bewertung der Verkehrssicherheit

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Kombinationen aus Verkehrsführung und Trennungssystem (siehe Kapitel 2.2.4, Tabelle 2-8) müssen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Verkehrssicherheit beurteilt werden. Dabei steht die Ermittlung von Unfallkostenraten für die beschriebenen Kombinationen im Vordergrund.

Aus der Untersuchung von FISCHER/BRANNOLTE (2006) können für diese Arbeit die Unfallkenngrößen bzw. die Unfalldaten für die Fälle

- Verkehrsführung 4s+0, Trennungssystem Markierung
- Verkehrsführung 4s+0, Trennungssystem transportable Schutzeinrichtung
- Verkehrsführung 3s+1, Trennungssystem transportable Schutzeinrichtung

verwendet werden. Die Unfallkenngrößen/Unfalldaten für die Verkehrsführung 3s+1 lassen sich nur eingeschränkt verwenden, da bei der Untersuchung von FISCHER/BRANNOLTE (2006) nur Unfälle auf der baustellenabgewandten Richtungsfahrbahn mit drei Behelfsfahrstreifen berücksichtigt wurden. Ferner wurden in der Untersuchung von FISCHER/BRANNOLTE (2006) Unfälle in den Überleitungs- und Verschwenkungsbereichen nicht berücksichtigt.

Aus der Untersuchung von Bark/Brannolte/Fischer et al. können für diese Arbeit die Unfallkenngrößen/Unfalldaten für die Fälle

- Verkehrsführung 2+0, Trennungssystem transportable Schutzeinrichtung
- Verkehrsführung 3s+0, Trennungssystem transportable Schutzeinrichtung

verwendet werden.

Die aus den beiden o.g. Untersuchungen entnommenen Daten wurden für diese Arbeit nochmals überarbeitet. Im Einzelnen wurden:

- Unfalldichten (UD) und Unfallkostendichten (UKD) ermittelt,
- Unfälle in den Überleitungs- und Verschwenkungsbereichen berücksichtigt und
- für die Verkehrsführung 4s+0 verschiedene Fahrstreifenbreitenklassen bei der Ermittlung von Unfallrate (UR) und Unfallkostenrate (UKR) berücksichtigt.

Die Berücksichtigung der Überleitungs- und Verschwenkungsbereiche für die aus der Untersuchung von FISCHER/BRANNOLTE (2006) übernommenen Daten für die Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0 erfolgte dabei so, dass die jeweiligen Unfallkenngrößen

ßen mit einem bestimmten Faktor erhöht wurden. Dieser Faktor ergibt sich aus der Veränderung der Unfallkenngroße bei Berücksichtigung allein der Unfälle in Innenbereich der Arbeitsstelle und bei Berücksichtigung aller Unfälle einschließlich der Unfälle in Überleitungs- und Verschwenkungsbereichen. Hierzu wurden als Vergleichsgruppe für 15 (4s+0) bzw. 18 (3s+1) Arbeitsstellen Unfallkenngroßen ohne bzw. mit Berücksichtigung von Überleitungs- und Verschwenkungsbereichen berechnet und aus den Kenngrößen für den mit und ohne Fall der jeweilige Quotient gebildet. Folgende Faktoren wurden ermittelt:

| | UD/UR | UKD/UKR |
|--------------------|-------|---------|
| Faktor Überleitung | 1,12 | 1,06 |

Tabelle 3-11: Faktor zur Berücksichtigung von Unfällen im Überleitungs- / Verschwenkungsbereich bei Verkehrsführung 4s+0

In vergleichbarer Weise wurden auch Faktoren ermittelt, um den in der Untersuchung von FISCHER/BRANNOLTE (2006) nicht erfassten einzelnen Fahrstreifen in den weiteren Berechnungen berücksichtigen zu können. Hierzu wurden die Unfallkenngroßen mit bzw. ohne Berücksichtigung des separat liegenden Fahrstreifens der Verkehrsführung 3s+1 berechnet und hieraus entsprechende Faktoren gebildet.

| | UD/UR | UKD/UKR |
|---------------------|-------|--------------------------------------|
| Faktor Fahrstreifen | 1,28 | 1,15 (1,11 bei UKDa bzw. UKRa) |

Tabelle 3-12: Faktor zur Berücksichtigung von Unfällen im Bereich des separat liegenden Fahrstreifens bei der Verkehrsführung 3s+1

Um nunmehr Unfallkenngroßen zu erhalten, bei denen sowohl alle Fahrstreifen als auch die Überleitungsbereiche berücksichtigt werden, wurden die von FISCHER/BRANNOLTE (2006) ermittelten Unfallkenngroßen mithilfe der aus den Vergleichsgruppen berechneten Faktoren hochgerechnet.

Aus o.g. Untersuchungen und den angegebenen Modifikationen ergeben sich die nachfolgend erläuterten Unfallkenngroßen. Dabei werden zunächst die Kenngrößen analysiert, mit der die Häufigkeit der Unfälle beschrieben wird, also Unfalldichte und Unfallrate. Danach wird die mittlere Schwere der Unfälle, ausgedrückt durch die mittleren Unfallkosten je Unfall, analysiert. Abschließend werden dann die Kenngrößen Unfallkostendichte und Unfallkostenrate, durch die sowohl Unfallhäufigkeit als auch Unfallschwere bewertet werden, analysiert. Durch die Angabe sowohl von Unfallrate/Unfalldichte als auch mittlerer Unfallschwere lassen sich somit die Auswirkungen der verschiedenen Verkehrsführungen/Trennungssysteme auf die Unfallkostendichten/Unfallkostenraten besser erklären. So kann beispielsweise deutlich werden, ob eine hohe Unfallkostenrate aus einer besonders hohen Häufigkeit von Unfällen (hohe UR) oder einer besonders hohen Unfallschwere resultiert.

Die Kennzahlen für die Vergleichsgruppe, aus der die Hochrechnungsfaktoren ermittelt wurden, sind jeweils mit angegeben.

Unfalldichte und Unfallrate

Folgendes ist festzustellen:

- Die Unfalldichte ist bei Strecken mit Verkehrsführung 2+0 am niedrigsten.
- Eine niedrige Unfalldichte ist auch bei Verkehrsführung 4s+0 und Einsatz einer Markierung als Gegenverkehrstrennung festzustellen.
- Die Unfalldichte liegt bei Verkehrsführungen 4s+0 und 3s+1 bei Trennung durch transportable Schutzeinrichtungen mit etwa 20 U/km deutlich höher.
- Die Unfallrate ist insbesondere bei den Verkehrsführungen 2+0 und 3+0 vergleichsweise hoch.
- Die niedrigste Unfallrate ist bei Verkehrsführung 4s+0 und Einsatz einer Markierung als Gegenverkehrstrennung festzustellen.
- Die Unfallrate liegt für die Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0 in etwa auf einem Niveau, bei ca. 1,1 Unfällen/(10⁶ Kfz km).
- Die Vergleichsgruppen weisen teilweise geringere (bei 3s+1), teilweise höhere (4s+0) Unfalldichten bzw. Unfallraten auf.

| Verkehrsführung | | Trennungssystem | UD [U/km] | UR [U/(10 ⁶ *Kfz*km)] |
|-----------------|---|---------------------|-----------|-------------------------------------|
| 2+0 | | Transp. Schutzeinr. | 12,6 | 1,47 |
| 3+0 | | Transp. Schutzeinr. | 16,4 | 1,60 |
| 3+1 | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Transp. Schutzeinr. | 22,2 | 1,09 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (Vergleichsgruppe) | Transp. Schutzeinr. | 15,6 | 0,87 |
| 4+0 | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Markierung | 13,1 | 0,81 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Transp. Schutzeinr. | 19,4 | 1,13 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (Vergleichsgruppe) | Transp. Schutzeinr. | 20,5 | 1,11 |

Tabelle 3-13: Unfalldichte und Unfallrate für die betrachteten Verkehrsführungen (FS = Fahrstreifen)

Insgesamt kann hieraus abgeleitet werden:

- Hinsichtlich Unfallrate und Unfalldichte bestehen nur geringe Unterschiede zwischen den Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0 bei Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen als Gegenverkehrstrennung. Die Unfallhäufigkeit ist bei beiden Verkehrsführungen als etwa gleich anzusehen.
- Die geringe UD und geringe UR bei Verkehrsführung 4s+0 und Trennung des Gegenverkehrs durch Markierung deutet darauf hin, dass es bei dieser Konstellation besonders selten zu Unfällen kommt.

- Die geringe UD der Verkehrsführungen 2+0 und 3s+0 zeigt, dass in diesen Bereichen die Zahl der Unfälle vergleichsweise gering ist. Die sehr hohe UR in diesen Bereichen zeigt jedoch, dass die geringe Zahl an Unfällen im Wesentlichen aus der geringen Verkehrsbelastung dieser Strecken resultiert und nicht etwa aus einer besonderen Sicherheit der Verkehrsführung abzuleiten ist.

Unfallschwere

| | | mUK [€/Unfall] | mUKa [€/Unfall] |
|------|-----|-------------------|--------------------|
| 2+0 | TSE | 23.299 | 31.222 |
| 3+0 | TSE | 18.400 | 21.833 |
| 3s+1 | TSE | 19.480 | 27.225 |
| 4s+0 | Mar | 27.947 | 47.379 |
| | TSE | 17.330 | 23.996 |

Tabelle 3-14: mittlere Unfallkosten aus pauschalen Unfallkostensätzen (mUK) und angepassten Unfallkostensätzen (mUKa)

Hinsichtlich der mittleren Unfallschwere, ausgedrückt durch die im Mittel je Unfall anfallenden volkswirtschaftlichen Kosten, lässt sich folgendes feststellen:

- Die mittleren Kosten je Unfall liegen bei den Verkehrsführungen 3+0 und 4s+0, jeweils mit transportablen Schutzeinrichtungen in etwa auf einem Niveau. Die mittleren Kosten bei Verkehrsführung 3s+1 liegen etwas (ca. 10%) höher.
- Bei einer Verkehrsführung 2+0 liegen die mittleren Kosten je Unfall um etwa 30 % (etwa 35 % bei angepassten Unfallkostensätzen) höher als bei den Verkehrsführungen 3+0 und 4s+0.
- Die höchsten mittleren Unfallkosten weist die Verkehrsführung 4s+0 mit Fahrtrichtungstrennung durch Markierungsmaterialien auf. Bei Verwendung der pauschalen Unfallkostensätze liegen die mittleren Unfallkosten um ca. 60% höher als bei einer Trennung mittels transportablen Schutzeinrichtungen, bei gleicher Verkehrsführung. Noch deutlicher wird der Unterschied bei Berechnung der Unfallkosten mittels angepasster Unfallkostensätze, hier sind die mittleren Unfallkosten sogar doppelt so hoch.

Unfallkostendichte

Folgendes ist festzustellen:

- Verkehrsführungen der Form 2+0, 3s+0 und 4s+0 haben bei Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen eine annähernd gleiche Unfallkostendichte, insbesondere bei Verwendung von angepassten Unfallkostensätzen.
- Obwohl die Verkehrsführungen 2+0 und 3s+0 eine sehr geringe Unfalldichte aufweisen, wirkt sich dies nicht in gleichem Maße auf die Unfallkostendichte aus. Dies ist ein Indiz für eine vergleichsweise hohe mittlere Unfallschwere. Diese liegt bei Verkehrsführung 2+0 bei 23.299 €/Unfall (31.222 €/Unfall bei angepassten Unfallkosten) und bei Verkehrsführung 3+0 bei 18.400 €/Unfall (21.833 €/Unfall). Zum Vergleich: FISCHER/BRANNOLTE (2006) ermittelten für die Kombination 4s+0 mit transportabler Schutzeinrichtung eine mittlere Unfallschwere von 17.330 €/Unfall.

- Bei Verkehrsführung 3s+1 liegt die Unfallkostendichte bei Verwendung von transportablen Schutzeinrichtungen deutlich höher als bei den anderen Verkehrsführungen.
- Abschnitte mit einer Verkehrsführung 4s+0 und Gegenverkehrstrennung mittels Markierungen weisen die höchsten Unfallkostendichten auf.

| Verkehrsführung | | Trennungssystem | UKD [€/km] | UKDa [€/km] |
|-----------------|---|---------------------|------------|-------------|
| 2+0 | | Transp. Schutzeinr. | 218 | 357 |
| 3+0 | | Transp. Schutzeinr. | 293 | 335 |
| 3+1 | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Transp. Schutzeinr. | 378 | 465 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (Vergleichsgruppe) | Transp. Schutzeinr. | 305 | 396 |
| 4+0 | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Markierung | 363 | 637 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Transp. Schutzeinr. | 288 | 357 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (Vergleichsgruppe) | Transp. Schutzeinr. | 352 | 429 |

Tabelle 3-15: Unfallkostendichte aus pauschalen (UKD) und angepassten (UKDa) Unfallkostensätzen nach Verkehrsführung und Trennungssystem

Unfallkostenrate

| Verkehrsführung | | Trennungssystem | UKR [€/(1000*Kfz*km)] | UKRa [€/(1000*Kfz*km)] |
|-----------------|---|---------------------|--------------------------|---------------------------|
| 2+0 | | Transp. Schutzeinr. | 31,9 | 41,8 |
| 3+0 | | Transp. Schutzeinr. | 28,6 | 32,7 |
| 3+1 | 3 FS (aus Fischer/Brannolte 2006) | Transp. Schutzeinr. | 16,7 | 21,2 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Transp. Schutzeinr. | 19,2 | 23,6 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (Vergleichsgruppe) | Transp. Schutzeinr. | 17,0 | 22,1 |
| 4+0 | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Markierung | 22,2 | 38,9 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (hochgerechnet aus Fischer/Brannolte 2006) | Transp. Schutzeinr. | 17,6 | 22,1 |
| | alle FS, einschl. Überleitung (Vergleichsgruppe) | Transp. Schutzeinr. | 19,1 | 23,3 |

Tabelle 3-16: Unfallkostenrate aus pauschalen (UKR) und angepassten (UKRa) Unfallkostensätzen nach Verkehrsführung und Trennungssystem

Folgendes ist festzustellen:

- Für die Verkehrsführung 2+0 werden sowohl bei Verwendung der pauschalen als auch der angepassten Unfallkosten die jeweils höchsten Unfallkostenraten ermittelt. Die Verkehrsführung 3s+0 weist bei Verwendung pauschaler Unfallkosten den zweithöchsten Wert und bei Ansatz angepasster Unfallkosten den dritthöchsten Wert auf.
- In Bereichen einer Verkehrsführung 4s+0 mit Gegenverkehrstrennung aus Markierung werden ebenfalls vergleichsweise hohe Unfallkostenraten ermittelt. Dies gilt insbesondere bei Verwendung angepasster Unfallkosten.
- Die Unfallkostenraten, insbesondere bei Ansatz angepasster Unfallkosten, der Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0 (jeweils bei Einsatz transportabler Schutzeinrichtungen) liegt auf einem einheitlichen Niveau. Während die hochgerechneten Unfallkostenraten Vorteile für die Verkehrsführung 4s+0 sehen, ergeben die Daten der Vergleichsgruppen eine entgegen gesetzte Tendenz.

Zusammenfassend können aus den Unfallkenngrößen folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Die Verkehrssicherheit für die Verkehrsteilnehmer ist für die Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0, bei Verwendung transportabler Schutzeinrichtungen, als nahezu gleich anzusehen. Diese Kombinationen aus Verkehrsführung und Trennungssystem stellen die aus Sicht der Verkehrssicherheit besten Lösungen dar.
- Die Verkehrssicherheit der Verkehrsführung 4s+0 in Kombination mit einer Fahrtrichtungstrennung aus Markierungsmaterialien ist deutlich schlechter zu beurteilen. Dies wird insbesondere bei Betrachtung der Unfallkostenraten deutlich, die aus angepassten Unfallkosten ermittelt wurden. Hier wirkt sich besonders aus, dass Unfälle hier im Mittel wesentlich schwerer sind als bei Verwendung transportabler Schutzeinrichtungen.
- Die Verkehrsführungen 2+0 und 3s+0 sind hinsichtlich der Verkehrssicherheit ebenfalls deutlich schlechter zu beurteilen als die Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0. Hier wirkt sich die vergleichsweise hohe Unfallrate bei diesen Verkehrsführungen und bei Verkehrsführung 2+0 die vergleichsweise hohe mittlere Unfallschwere negativ aus.

Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die Verkehrssicherheit

Für 30 Arbeitsstellen mit Verkehrsführung 4s+0 lagen Angaben zu den Fahrstreifenbreiten vor. Somit war es möglich, das Unfallgeschehen im Hinblick auf mögliche Auswirkungen durch die Fahrstreifenbreiten zu analysieren. Hierzu wurden entsprechend der Summe der Breite des linken und rechten Fahrstreifens Breitenklassen gebildet, die Klassifizierung entspricht der in Kapitel 3.2.2 vorgenommenen Einteilung.

Reicht die Breite der befestigten Fläche nicht aus, um eine Verkehrsführung 4s+0 mit transportabler Schutzeinrichtung einzurichten, besteht die Möglichkeit, die Fahrstreifenbreiten geringfügig zu unterschreiten (Lösungsansatz d in Tabelle 2-8). Nachfol-

gend soll nun untersucht werden, inwieweit sich die Änderung der Fahrstreifenbreiten auf Unfallraten und Unfallkostenraten als den maßgeblichen Unfallkenngrößen auswirkt. Die Betrachtung der Unfallstruktur, ausgedrückt durch die Unfalltypen und Unfallarten, hat gezeigt, dass vermehrt Unfälle mit Kollision der nebeneinander fahrenden Fahrzeuge auftreten.

Die Überleitungsbereiche werden bei der Betrachtung der Fahrstreifenbreiten nicht berücksichtigt, allein die Unfälle im Innenbereich der Arbeitsstelle, bei denen sich die hier auftretenden Fahrstreifenbreiten auswirken, wurden dabei betrachtet. Hierzu wurden mehr als 900 Unfälle an 30 Arbeitsstellen ausgewertet. Die Unfallkostenraten wurden sowohl mit pauschalen Unfallkostensätzen als auch mit indirekt angepassten Unfallkostensätzen ermittelt. Die Ermittlung der indirekt angepassten Unfallkostensätze erfolgte dabei auf Basis von 222 Unfällen mit Personenschaden in Arbeitsstellen der Verkehrsführung 4s+0 und dem Trennungssystem Stahlschutzwand für den Preisstand 2000. Die Unfalldaten wurden der Untersuchung von FISCHER/BRANNOLTE (2006) entnommen. Die Berechnung der Unfallkostensätze für das Verfahren der indirekten Anpassung erfolgte dabei gemäß dem im Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1 (FGSV, 1998) beschriebenen Verfahren. Folgende Unfallkostensätze wurden auf Basis der o. g. Unfalldaten im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelt.

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Unfall mit schwerem Personenschaden | – 506.000 € |
| Unfall mit leichtem Personenschaden | – 31.000 € |
| Unfall mit Sachschaden | – 10.500 € |

Unfallraten:

| BKL | Breite | UR | sUR | Anzahl U |
|-----|------------------------------|------|------|----------|
| 1 | kleiner oder gleich 5,6 m | 0,91 | 0,09 | 323 |
| 2 | größer 5,6 m - kleiner 6,1 m | 1,13 | 0,13 | 248 |
| 3 | größer oder gleich 6,1 m | 0,99 | 0,15 | 364 |

Tabelle 3-17: mittlere Unfallrate (UR) für Verkehrsführung 4s+0 und transportable Schutzeinrichtung, Standardabweichung der mittleren Unfallrate (sUR) und Anzahl der Unfälle nach Breitenklasse bzw. Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung

Die für die Verkehrsführung 4s+0 und das Trennungssystem transportable Schutzeinrichtung ermittelten Unfallraten liegen je nach Breitenklasse zwischen 1,13 und 0,91 Unfällen/(10⁶ Kfz km) (s. Tabelle 3-16). Damit liegen sie auf dem Niveau, das auch für die Gesamtstichprobe der Verkehrsführung 4s+0 mit Trennung durch Stahlschutzwand mit 1,0 Unfällen/(10⁶ Kfz km) von FISCHER/BRANNOLTE 2006 ermittelt wurde. Die ermittelten Differenzen für verschiedene Breiten sind jedoch insbesondere unter Beachtung der jeweiligen Standardabweichung als gering einzuschätzen. Ein Signifikanztest (t-Test mit Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$) bestätigt dies. Lediglich für die Breitenklassen 1 und 2 konnte eine signifikante Unterscheidung festgestellt werden. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Fahrstreifenbreite im betrachteten Rahmen keinen gravierenden Einfluss auf die Unfallrate im Bereich der Arbeitsstelle hat.

Unfallkostenrate:

| BKL | Breite | UKR | sUKR | UKRa | sUKRa |
|-----|------------------------------|------|------|------|-------|
| 1 | kleiner oder gleich 5,6 m | 13,5 | 2,0 | 16,1 | 3,2 |
| 2 | größer 5,6 m - kleiner 6,1 m | 17,1 | 4,4 | 19,8 | 7,4 |
| 3 | größer oder gleich 6,1 m | 22,9 | 1,5 | 28,7 | 2,7 |

Tabelle 3-18: mittlere Unfallkostenrate (UKR) für Verkehrsführung 4s+0 und transportable Schutzeinrichtung, und Standardabweichung der mittleren Unfallkostenrate (sUKR) nach Breitenklasse bzw. Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung

Für die Unfallkostenrate kann festgestellt werden:

- Die Unfallkostenrate liegt zwischen 13,5 und 22,9 €/ (1000 Kfz*km) bei Verwendung pauschaler Unfallkostensätze und zwischen 16,1 und 28,7 €/ (1000 Kfz*km) bei Verwendung indirekt angepasster Unfallkostensätze.
- Damit liegt die UKR der zur Untersuchung herangezogenen Teilmenge in etwa auf dem Niveau der UKR die für die Gesamtmenge der Unfälle im Bereich einer Verkehrsführung 4+0 und transportabler Schutzeinrichtung mit UKR = 16,60 €/ (1000 Kfz*km) bzw. UKRa = 20,81 €/ (1000 Kfz*km) ermittelt wurde (FISCHER/BRANNOLTE 2006).
- Die Unfallkostenraten sind dabei umso höher, je größer die Gesamtbreite der zur Verfügung stehenden Fahrstreifen ist. Besonders deutlich ist dies bei den UKRa zu erkennen, bei denen für die Breitenklasse 3 die UKRa deutlich ansteigt.
- Da sich die Breitenklassen hinsichtlich der Unfallrate nicht stark voneinander unterscheiden, muss der deutliche Anstieg, insbesondere für die Breitenklasse 3, in höheren mittleren Unfallkosten begründet sein. Eine Auswertung (Tabelle 3-18) zeigt, dass die mittleren Unfallkosten sowohl bei Ansatz pauschaler als auch angepasster Unfallkostensätze bei Breitenklasse 1 und 2 in etwa gleich, bei Breitenklasse 3 aber um etwa 1/3 höher liegen.

| BKL | Breite | mUK | mUKa |
|-----|------------------------------|----------|----------|
| 1 | kleiner oder gleich 5,6 m | 15.647 € | 18.868 € |
| 2 | größer 5,6 m - kleiner 6,1 m | 15.325 € | 17.817 € |
| 3 | größer oder gleich 6,1 m | 25.253 € | 31.585 € |

Tabelle 3-19: mittlere Unfallschwere für Verkehrsführung 4s+0 und transportable Schutzeinrichtung, nach Breitenklasse bzw. Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung

- Eine Überprüfung der Verteilungen der Unfallkostenraten für die verschiedenen Breiten mittels t-Test zeigt, dass sich die Unfallkostenraten der Breitenklasse 1 und 3 ebenso wie die Unfallkostenraten der Breitenklasse 2 und 3 signifikant voneinander unterscheiden ($\alpha = 0,05$). Dies gilt sowohl bei Ansatz pauschaler als auch bei Ansatz angepasster Unfallkostensätze. Eine solche signifikante Unterscheidung kann für die Unfallkostenraten der Breitenklassen 1 und 2 nur bei Ansatz pauschaler Unfallkostensätze festgestellt werden. Bei Ansatz der, als realistischer einzustufenden, indirekt angepassten Unfallkostensätze kann festgestellt werden, dass sich die Unfallkostenraten der Breitenklassen 1 und 2 nicht signifikant voneinander unterscheiden.

Hinsichtlich der Unfallkostenraten (für Verkehrsführung 4s+0 und Trennung mittels transportabler Schutzeinrichtungen) kann abschließend festgestellt werden, dass sich Fahrstreifenbreiten, die deutlich über die in den RSA-95 [BMVBW 1995] vorge-

sehenen Mindestmaße hinausgehen (hier: Breitenklasse 3) negativ auf die Unfallkostenrate auswirken. Dem entgegen weisen Arbeitsstellen, die Fahrstreifenbreiten aufweisen, die den Mindestmaßen nach RSA-95 [BMVBW 1995] entsprechen bzw. geringfügig breiter sind (hier: Breitenklasse 2), eine deutlich geringere Unfallkostenrate auf. Werden die Mindestmaße für Fahrstreifenbreiten der RSA-95 [BMVBW 1995] geringfügig, d.h. um insgesamt maximal 0,25m unterschritten (hier: Breitenklasse 1), ist kein negativer Einfluss auf die Unfallkostenrate nachzuweisen.

Insgesamt kann bezüglich des Einflusses der Fahrstreifenbreiten auf das Unfallgeschehen in Arbeitsstellen mit Verkehrsführung 4s+0 und transportablen Schutzeinrichtungen festgestellt werden, dass:

- die Unfallraten für die untersuchten Breitenklassen nahezu gleich sind,
- sich die Unfallkostenraten für Fahrstreifenbreiten, die den Mindestmaßen nach RSA entsprechen (Breitenklasse 2) und für Fahrstreifenbreiten die diese Maße geringfügig unterschreiten (Breitenklasse 1) nicht signifikant unterscheiden und daher als gleich angesetzt werden können und
- deutlich größere Fahrstreifenbreiten als in den RSA-95 [BMVBW 1995] gefordert (Breitenklasse 3) höhere mittlere Unfallkosten und daraus folgend eine höhere Unfallkostenrate nach sich ziehen. Eine Ursache hierfür könnte in einer Änderung des Fahrerverhaltens liegen, vermutet wird ein Ansteigen des Geschwindigkeitsniveaus bei größeren Fahrstreifenbreiten.

3.4 Einfluss der Verkehrsführungen auf den Verkehrsablauf

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchzuführende volkswirtschaftliche Betrachtung ist vor allem der Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeiten und Verkehrsstärke von besonderer Bedeutung. Denn mit Hilfe der Fahrzeuggeschwindigkeit können wesentliche, für das Bewertungsverfahren wichtige, Indikatoren beschrieben werden. Um Reisegeschwindigkeiten, welche in die volkswirtschaftliche Bewertung einfließen, zu ermitteln, werden z. B. in den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen - EWS 1997 [FGSV 1997] über die q-v-Beziehung für die jeweiligen Verkehrsstärken mittlere Fahrzeugreisegeschwindigkeiten ermittelt. Aus diesen Geschwindigkeiten lassen sich dann Reisezeiten, aber z. B. auch Angaben zu Kraftstoffverbrauch und Emissionen ermitteln.

Bei der Ermittlung von q-v-Beziehungen ist zu beachten, dass die verschiedenen auftretenden Randbedingungen (Verkehrsführung, Trennungssystem, Fahrstreifenbreite) Einfluss haben können.

3.4.1 Verteilung auf die Fahrstreifen

Nachfolgend werden die Wirkungen der Einflussgrößen Verkehrsstärke, Schwerverkehrsanteil, Fahrstreifenbreite und Trennungssystem auf den Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke je Fahrtrichtung erläutert.

Verkehrsstärke:

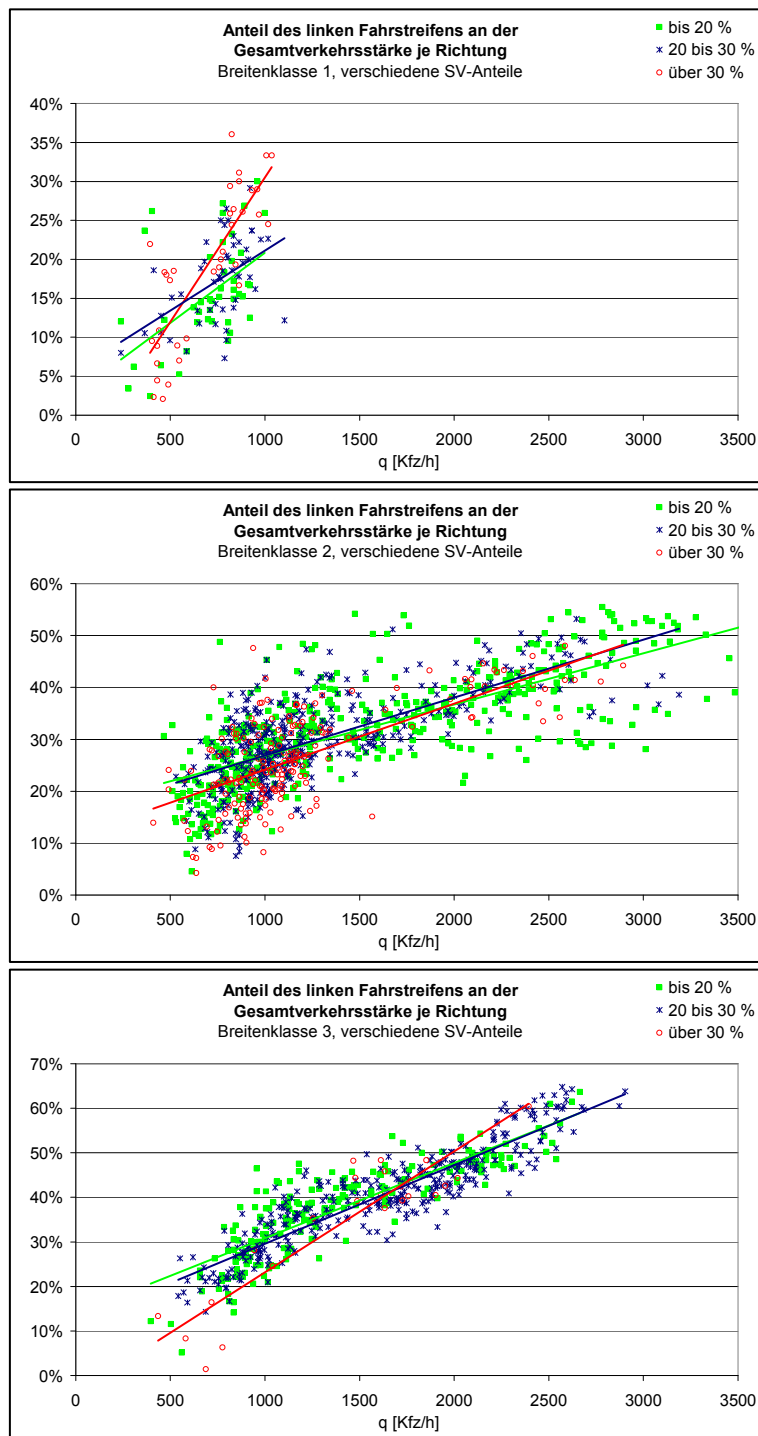


Bild 3-6: Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke und dem Schwerverkehrsanteil für verschiedene Breitenklassen. Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet

Zur Ermittlung einer stündlichen Verkehrsstärke wurde die Verkehrsstärke aus 5-Minuten-Intervallen auf Stundenwerte hochgerechnet. Der Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke nimmt mit zunehmender Verkehrsstärke zu und kann im Bereich der Kapazität, also oberhalb einer stündlichen Verkehrsstärke von ca. 2000 bis 2500 Kfz/h Anteile von 50 % und mehr erreichen (siehe Anhang, Anlage 9). Im Bereich unterhalb dieser Verkehrsstärken kann eine lineare Zunahme des Anteils des linken Fahrstreifens mit der Verkehrsstärke festgestellt werden. Bei einer Verkehrsstärke von 1000 Kfz/h liegt der Anteil des linken Fahrstreifens bei ca. 20 - 25 % und bei einer Verkehrsstärke von 1750 Kfz/h bei ca. 35 - 40 % (siehe Anhang, Anlage 9).

Schwerverkehrsanteil:

Es ist augenscheinlich (Bild 3-3), dass die Punktwolken für die drei betrachteten Bereiche der Schwerverkehrsanteile in ihrer Form und Lage weitgehend übereinstimmen. Dies trifft insbesondere für Schwerverkehrsanteile „bis 20 %“ und „20 bis 30 %“ zu. Die in den Diagrammen eingetragenen Regressionsgraden zeigen darüber hinaus, dass bei Schwerverkehrsanteilen über 30 % der Anteil der Verkehrsstärke auf dem linken Fahrstreifen mit zunehmender Verkehrsstärke schneller zunimmt als bei Schwerverkehrsanteilen von unter 30 %.

Es ist augenscheinlich (Bild 3-3), dass die Punktwolken für die drei betrachteten Bereiche der Schwerverkehrsanteile in ihrer Form und Lage weitgehend übereinstimmen. Dies trifft insbesondere für Schwerverkehrsanteile „bis 20 %“ und „20 bis 30 %“ zu. Die in den Diagrammen eingetragenen Regressionsgraden zeigen darüber hinaus, dass bei Schwerverkehrsanteilen über 30 % der Anteil der Verkehrsstärke auf dem linken Fahrstreifen mit zunehmender Verkehrsstärke schneller zunimmt als bei Schwerverkehrsanteilen von unter 30 %. Diese Aussagen

können in ihrer Tendenz für alle drei betrachteten Fahrstreifenbreitenklassen bestätigt werden.

Insgesamt kann hieraus gefolgert werden, dass der Schwerverkehrsanteil nur einen geringen Einfluss auf die Aufteilung des Verkehrs auf die Fahrstreifen hat. Erst bei Schwerverkehrsanteilen von über 30% nimmt der Einfluss des Schwerverkehrsanteils auf die Fahrstreifenbelegung zu.

Im Folgenden wird daher der Bereich bis 30% Schwerverkehrsanteil zu einer Gruppe zusammengefasst.

Fahrstreifenbreite:

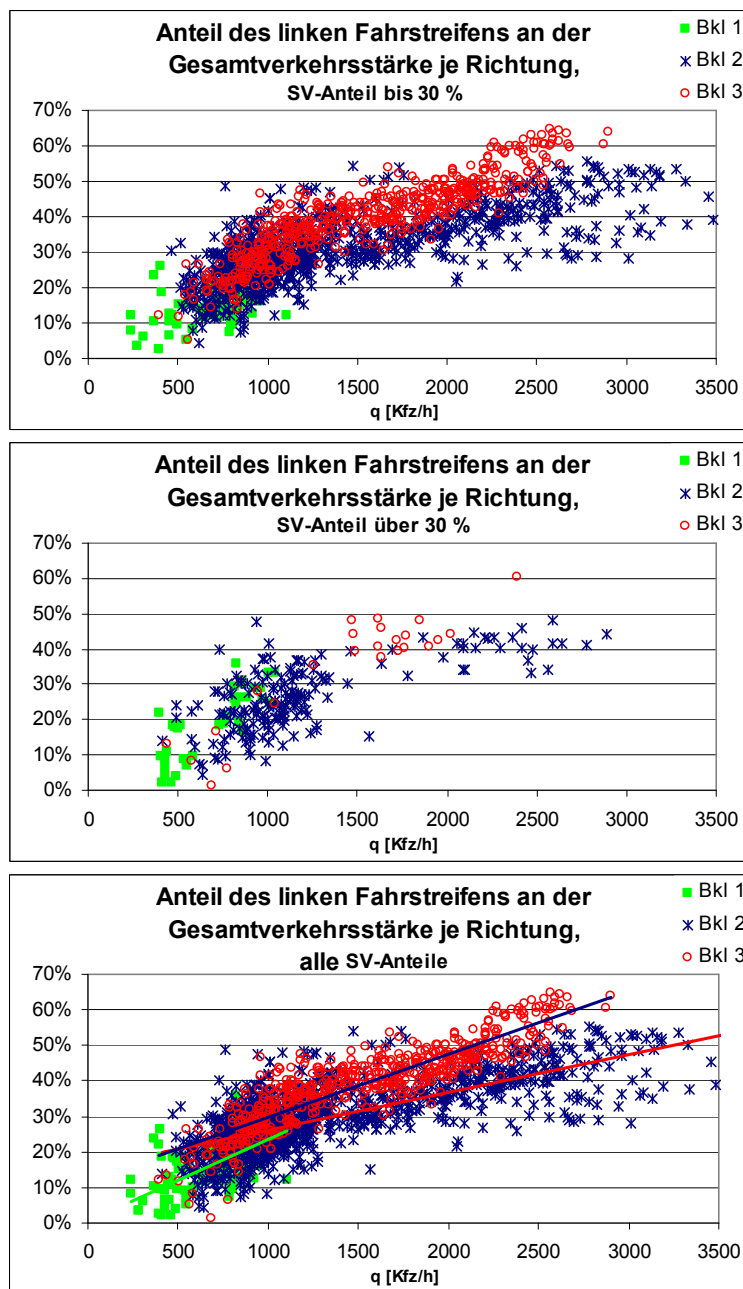


Bild 3-7: Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke und der Breitenklasse für verschiedene Schwerverkehrsanteile. Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet

Es wird deutlich (Bild 3-4), dass der Anteil der Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen bis zu einer Verkehrsstärke von etwa 1.300 Kfz/h von der Fahrstreifenbreite offenbar nicht beeinflusst wird. Die Punktwolken für die Breitenklassen 1, 2 und 3 weisen in diesem Bereich eine weitgehende Übereinstimmung hinsichtlich Lage und Form auf. Oberhalb einer Verkehrsstärke von ca. 1.300 Kfz/h ist jedoch festzustellen, dass der Anteil des linken Fahrstreifens bei Breitenklasse 3 deutlich stärker mit der Verkehrsstärke ansteigt als dies bei Breitenklasse 2 beobachtet werden kann. Darin begründet sich auch die Feststellung, dass bei dem maximal erreichten Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke bei Strecken der Breitenklasse 3 bei ca. 60 % liegt, bei Strecken der Breitenklasse 2 werden hingegen nur maximal ca. 50 % erreicht.

Um diese Zahlen hinsichtlich ihrer Aussagekraft bewerten zu können, wurde die bei Erreichen der Kapazität theoretisch erforderliche Aufteilung der Fahrzeuge auf die Fahrstreifen ermittelt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass bei Erreichen der Kapazität die Verkehrsstärke in Pkw-Einheiten/h auf beiden Fahrstreifen gleich ist, die Fahrzeuge des Schwerververkehrs ausschließlich den rechten Fahrstreifen benutzen und 1 Fahrzeug des Schwerververkehrs mit 1,5 Pkw-E angesetzt wird. Der Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Kfz/h ergibt sich dann zu: $A = (1 + 1,5 \cdot \text{SV-Anteil})/2$

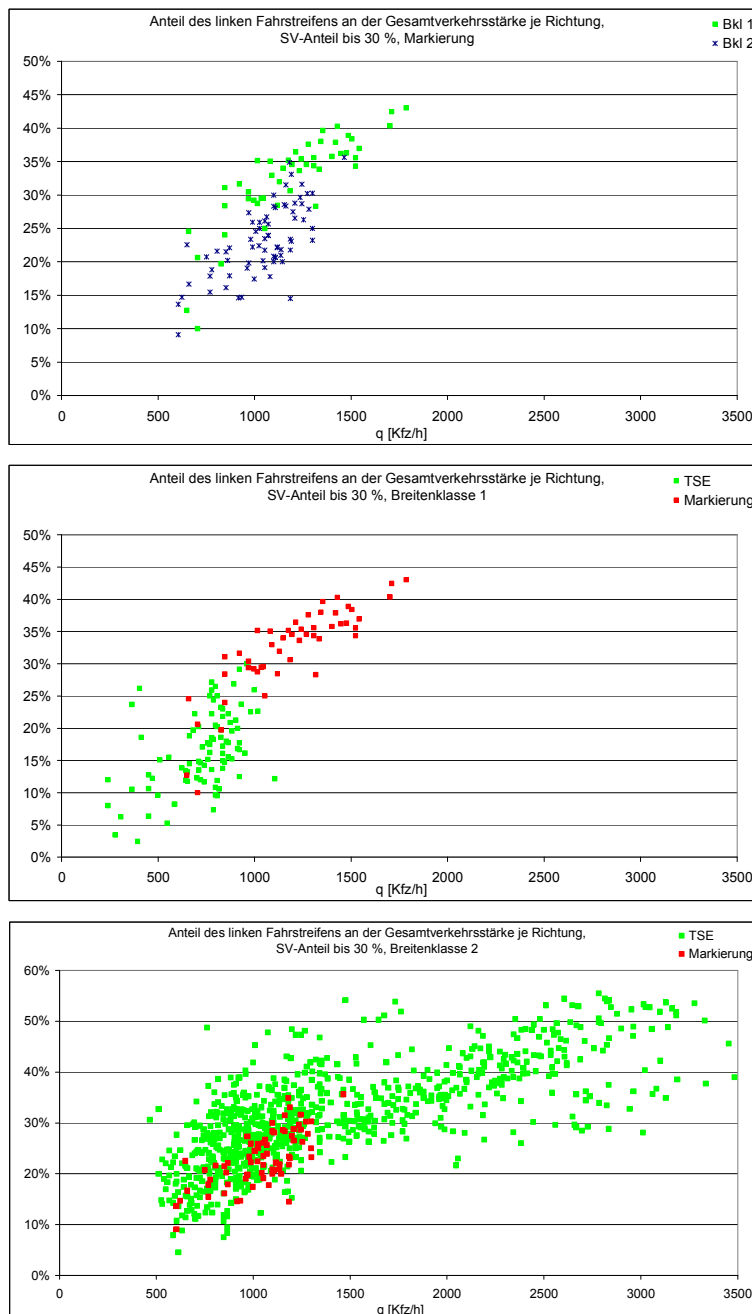


Bild 3-8: Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke, der Breitenklasse und dem Trennungssystem für verschiedene Schwerververkehrsanteile. Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet. TSE – transportable Schutzzeineinrichtung

Für einen Schwerververkehrsanteil von 20% müssten demnach 65%, bei einem SV-Anteil von 30% sogar 73% der Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen fahren. Das heißt, dass bei großen Fahrstreifenbreiten (Breitenklasse 3) diese Aufteilung auf die Fahrstreifen tatsächlich erreicht werden kann, bei geringeren Fahrstreifenbreiten ist dies nicht möglich. Somit kann bei diesen Fahrstreifenbreiten die Kapazität der Fahrstreifen offenkundig nicht voll ausgenutzt werden. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Fahrstreifenbreite erst bei Verkehrsbelastungen von mehr als ca. 1.300 Kfz/h Auswirkungen auf die Verteilung des Verkehrs auf die Fahrstreifen hat und sich bei höheren Verkehrsstärken begrenzend auf die Kapazität auswirkt. Die Erhebungen haben gezeigt, dass bei schmalen Fahrstreifen der linke Fahrstreifen maximal 50 % der Gesamtverkehrsmenge aufnehmen kann. Entsprechend den oben gemachten Annahmen zur Abschätzung der Fahrstreifenbelegung würde dies bedeuten, dass

die Kapazität der Richtungsfahrbahn bei etwa 3.000 Kfz/h liegt.

Trennungssystem:

Bei den beiden untersuchten Strecken mit Markierung und Sichtzeichen als Gegenverkehrstrennung kann festgestellt werden, dass bei Strecken mit schmalen Fahrstreifen der linke Fahrstreifen tendenziell einen größeren Anteil der Gesamtverkehrsbelastung abwickelt als bei Strecken mit breiteren Fahrstreifen. Dies ist auf die Besonderheit zurückzuführen, dass für die Strecke der Breitenklasse 1 die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei 80 km/h und für die Strecke der Breitenklasse 2 bei 60 km/h lag.

Verglichen mit den Messergebnissen der Strecken mit transportablen Schutzeinrichtungen ist festzustellen, dass für eine Verkehrsstärke bis ca. 1.500 Kfz/h die jeweiligen Anteile des linken Fahrstreifens bei beiden Trennungssystemen etwa gleich sind.

Eine Aussage über die Fahrstreifenbelegung bei höheren Verkehrsstärken kann nicht getroffen werden.

3.4.2 Fahrzeuggeschwindigkeiten in Autobahnarbeitsstellen

Wunschgeschwindigkeiten

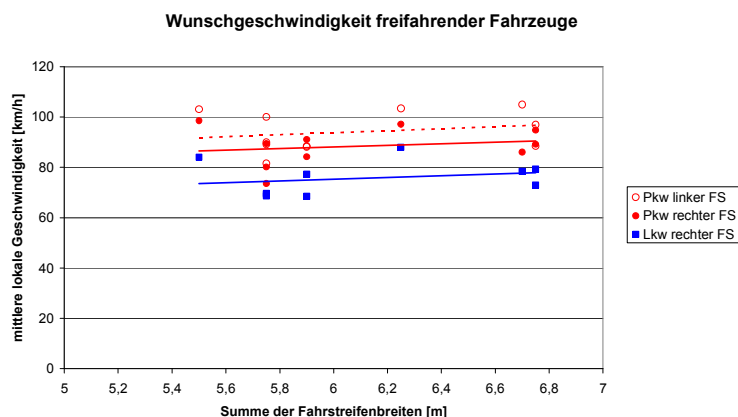


Bild 3-9: mittlere Wunschgeschwindigkeiten freifahrender Fahrzeuge in den Messstrecken; Aufteilung nach der Fahrzeugart, des befahrenen Fahrstreifens und der Fahrstreifenbreite. Gesamtstichprobengröße $n = 6154$ Fahrzeuge

Fahrer seine Geschwindigkeit unabhängig von anderen Fahrzeugen wählen kann. Die gewählte Geschwindigkeit entspricht daher seiner, von den gegebenen Randbedingungen wie Behelfsverkehrsführung und Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit beeinflussten, gewünschten Fahrgeschwindigkeit. Für Pkw ist festzustellen, dass die Wunschgeschwindigkeit auf dem linken Fahrstreifen unabhängig von den Fahrstreifenbreiten um etwa 5 – 10 km/h höher liegt als auf dem rechten Fahrstreifen. Die Wunschgeschwindigkeit liegt dabei auf dem linken Fahrstreifen bei ca. 90 – 100 km/h und auf dem rechten Fahrstreifen bei ca. 80 – 90 km/h. Die Wunschgeschwindigkeit der Fahrzeuge des Schwerverkehrs liegt bei knapp unter 80 km/h.

Bei der Analyse der Wunschgeschwindigkeiten der Fahrzeuge wurden die Geschwindigkeiten freifahrender Fahrzeuge analysiert. Als solche wurden Fahrzeuge, bei denen zum vorausfahrenden und zum nachfolgenden Fahrzeug eine Zeitlücke von mindestens 8s besteht, betrachtet. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der

Hinsichtlich des Einflusses der Fahrstreifenbreite auf die Geschwindigkeiten ist festzustellen, dass im Vergleich der Gesamtfahrstreifenbreiten $>5,70$ m festzustellen ist, dass sich bei größeren Gesamtfahrstreifenbreiten die Wunschgeschwindigkeiten tendenziell erhöhen. Diese Tendenz ist jedoch vergleichsweise schwach ausgeprägt und lässt sich statistisch nicht ausreichend absichern. Weiterhin fällt auf, dass entgegen dieser Tendenz die Messstrecke mit den geringsten Fahrstreifenbreiten vergleichsweise hohe Wunschgeschwindigkeiten aufweist. Der Grund hierfür mag sowohl in regionalen Besonderheiten als auch in der Streckenführung liegen, da 600 m vor dem Messquerschnitt eine ca. 3 km lange Gefällestrecke endet. Die Messungen, die nach Beendigung der Baumaßnahmen am Messquerschnitt durchgeführt wurden, deuten ebenfalls auf ein in diesem Messquerschnitt leicht höheres Geschwindigkeitsniveau hin. Die im Zuge der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) durchgeführten Fahrzeugnachfahrten zeigen ebenfalls, dass im Bereich des Messquerschnittes die Geschwindigkeiten der verfolgten Fahrzeuge mit 80 – 130 km/h über dem sonstigen Geschwindigkeitsniveau der Messstrecke mit ca. 70 – 120 km/h liegt. Die mittlere Geschwindigkeit der verfolgten Fahrzeuge lag im Bereich des Messquerschnittes bei 99 km/h, dies korrespondiert mit der, von FISCHER/BRANNOLTE (2006) ermittelten, mittleren Geschwindigkeit auf dem linken Fahrstreifen im Bereich des Messquerschnittes von ebenfalls 99 km/h. Die mittlere Geschwindigkeit der verfolgten Fahrzeuge für den gesamten Baustellenbereich liegt mit etwa 90 km/h um 9 km/h niedriger. Berücksichtigt man dies bei der Interpretation der Wunschgeschwindigkeiten ist festzustellen, dass die Geschwindigkeiten deutlich besser mit denen der anderen Messstrecken korrespondieren. Insgesamt lässt sich daraus folgern, dass die Wunschgeschwindigkeiten nur in geringem Maße von den Fahrstreifenbreiten beeinflusst werden. Gesamtfahrstreifenbreiten von 5,50 m führen im Vergleich zu Gesamtfahrstreifenbreiten von 5,75 m nicht zu einer nachweisbaren Reduzierung der Wunschgeschwindigkeiten.

Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verkehrsstärke

Die verschiedenen Behelfsverkehrsführungen, Trennungssysteme und Fahrstreifenbreiten wirken sich wie gesehen auf das Fahrerverhalten und insbesondere auf das Geschwindigkeitsniveau aus. Bei einer späteren volkswirtschaftlichen Betrachtung kann sich dies auf verschiedene Kostenkomponenten, in erster Linie allerdings auf die Reisezeiten und damit die Zeitkosten, auswirken.

Die EWS 1997 [FGSV 1997] geben allerdings keine Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen für den Fall von Arbeitsstellen an. Die im HBS 2001 [FGSV 2001b] für den Fall einer Arbeitsstelle gegebene q-v-Beziehung gilt für die Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0. Spezielle Einflüsse wie Behelfsfahrstreifenbreite, fehlende Überholmöglichkeiten im Bereich von einstreifigen Verkehrsführungen und Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h, die bei den hier zu betrachtenden Varianten möglicherweise von Bedeutung sind, werden hierbei nicht

berücksichtigt. Ferner gilt die Kurve entsprechend HBS 2001 [FGSV 2001b] nur für Pkw.

Daher war es erforderlich, für die hier zu untersuchenden Varianten Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen zu definieren. Durch eine Literaturanalyse konnten jedoch keine brauchbaren Ansätze ermittelt werden, bei denen die hier relevanten Einflussfaktoren Verkehrsführung, Trennungssystem und Fahrstreifenbreite berücksichtigt wurden. Daher wurden die im Rahmen des Forschungsprojektes FE 82.219/2001 der BASt [FISCHER/BRANNOLTE (2006)] durchgeführten Messungen des Verkehrsablaufes an ausgewählten Autobahnarbeitsstellen im Hinblick auf die Ermittlung von q-v-Beziehungen ausgewertet. Aus dieser Untersuchung lagen Querschnittsmessungen mit folgenden Randbedingungen bezüglich der Fahrstreifenaufteilung vor:

- Fall a) Zwei Fahrstreifen mit einer Breite von 2,50 m bzw. 3,00 m, $V_{zul} = 80$ km/h
- Fall b) Zwei Fahrstreifen mit einer Breite von 2,50 m bzw. 3,25 m, $V_{zul} = 80$ km/h
- Fall c) Zwei Fahrstreifen mit einer Breite von 2,50 m bzw. 3,25 m, $V_{zul} = 60$ km/h
- Fall d) Zwei Fahrstreifen mit einer Breite von 3,00 m bzw. 3,25 m, $V_{zul} = 80$ km/h
- Fall e) Einzelner Fahrstreifen mit einer Breite von 3,25 m, $V_{zul} = 80$ km/h, keine Belegung durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs (SV)

Für den Fall eines einzelnen Fahrstreifens, der auch mit Fahrzeugen des SV belegt ist, wie es bei der Verkehrsführung 3s+0 der Fall ist, lagen keine empirischen Daten vor. Zur Abschätzung der q-v-Beziehung für diesen Fall wurde ein an der Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik vorhandenes mikroskopisches Simulationsmodell verwendet. Das Simulationsmodell wurde von der Bauhaus-Universität Weimar bereits im Rahmen eines Forschungsprojektes der BASt zur Simulation des Verkehrsablaufes auf Landstraßenabschnitten mit der Verkehrsführung 2+1 eingesetzt. Bei dieser Verkehrsführung liegen ähnliche Randbedingungen vor, wie bei einer 3s+0 Verkehrsführung, denn insgesamt stehen 3 Fahrstreifen auf einer Fahrbahn zur Verfügung, in einer Fahrtrichtung ist nur ein Fahrstreifen vorhanden, in dieser Fahrtrichtung herrscht ein Überholverbot, sowohl Pkw als auch Lkw sind auf diesem Fahrstreifen zugelassen und die Straße ist mindestens der Kategorie AI/All zuzuordnen. Die Eichung des Modells erfolgte anhand der für den Fall SV = 0% vorhandenen empirischen Daten.

Für den Fall a), bei dem die Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA –95 [BMVBW 1995] unterschritten werden, wurden die Daten der Messstrecke Friedewald modifiziert. Entsprechend der im vorangehenden Abschnitt dargestellten Besonderheiten am Messquerschnitt wurden die mittleren Pkw-Geschwindigkeiten um jeweils 9 km/h gesenkt.

Für die aus den Messungen und der Simulation vorliegenden Punktwolken (siehe Anhang, Anlage 10) wurden durch Regression mittels der Solver-Funktion der Software Microsoft-Excel Funktionen ermittelt, durch die sich die vorhandenen Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen beschreiben lassen. Dabei wurde der Funktionstyp, der den Funktionen im HBS 2001 [FGSV 2001b] zugrunde liegt, verwendet.

$$v = v_0 \cdot \left(1 + \frac{v_0}{l_0 \cdot (c_0 - q)}\right)^{(-1)} \quad (\text{Gleichung 6-1, nach [FGSV 2001b]})$$

Mit: v = Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]
 q = Verkehrsstärke [Kfz/h]
 v_0, l_0 und c_0 = Modellparameter (siehe HBS 2001 [FGSV 2001b])

Die Kapazitäten wurden anhand der Leistungsfähigkeitsberechnung der RBAP 1996 [BMVBW 1996 a] (siehe Tabelle 3-19) für die Fälle

- zwei breite Fahrstreifen (bei Verkehrsführung 3s+0 und 3s+1) mit 3.400 Kfz/h,
- zwei schmale Fahrstreifen (bei Verkehrsführung 4s+0) mit 3.200 Kfz/h und
- ein einzelner Fahrstreifen (bei Verkehrsführung 3s+0 und 3s+1) mit 1.650 Kfz/h

abgeschätzt. Für den Fall der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten wurde alternativ sowohl mit einer aufgrund der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten abgeminderten Kapazität von 3.000 Kfz/h als auch mit einer Kapazität von 3.200 Kfz/h gerechnet.

Bei Erreichen der Kapazität beträgt die mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit jeweils 60 km/h.

| Verkehrsführung | Fahrt-richtung | Charakteristik gem. RBAP [BMVBW 1996a] | Grundwert der Leistungsfähigkeit (linker FS, rechter FS) [Pkw-E/h] | Leistungsfähigkeit (nach RBAP) | Leistungsfähigkeit in Kfz/h bei 15% SV-Anteil und Umrechnungsfaktor 1 SV-Fz = 1,5 Pkw-E |
|-----------------|----------------|--|--|--------------------------------|---|
| 4s+0 | I | | 1.720 + 1.830 | 3.550 Pkw-E/h | 3.302 Kfz/h |
| | II | ÜL | 1.720 + 1.830 | 3.370 Pkw-E/h | 3.135 Kfz/h |
| 3s+1 | I | | 1.830 + 1.830 | 3.660 Pkw-E/h | 3.404 Kfz/h |
| | II linker FS | ÜL | 1.830 | 1.740 Pkw-E/h | 1.740 Kfz/h |
| | II rechter FS | | 1.830 | 1.830 Pkw-E/h | 1.702 Kfz/h |
| 3s+0 | I | | 1.830 + 1.830 | 3.660 Pkw-E/h | 3.404 Kfz/h |
| | II | ÜL+RFS | 1.830 | 1.650 Pkw-E/h | 1.535 Kfz/h |

Tabelle 3-20: Leistungsfähigkeitsermittlung [gemäß RBAP 1996, BMVBW 1996a]: Abkürzungen: FS – Fahrstreifen; ÜL – Überleitung auf die Gegenfahrbahn; RFS – Reduktion der Fahrstreifenanzahl

Somit ergeben sich die in Bild 3-10 dargestellten Zusammenhänge, die Parameter der

Gleichungen stehen in Anhang 11. Der Vergleich mit der Funktion des HBS 2001 zeigt eine gute Übereinstimmung mit der hier ermittelten Funktion für den Fall schmaler Fahrstreifen und dem Fahrzeugtyp Pkw (siehe Bild 3-10, unten rechts).

Aufgrund der relativ geringen Datengrundlage für den Fall der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten wurden für diesen Fall folgende drei Varianten dargestellt:

- V1: Regression auf Basis der um 9 km/h abgeminderten Geschwindigkeiten bei einer Kapazität von 3.000 Kfz/h, zulässige Höchstgeschwindigkeit = 80 km/h
- V2: Regression auf Basis der um 9 km/h abgeminderten Geschwindigkeiten bei einer Kapazität von 3.200 Kfz/h, zulässige Höchstgeschwindigkeit = 80 km/h
- V3: Wie V1, aber Festlegung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h

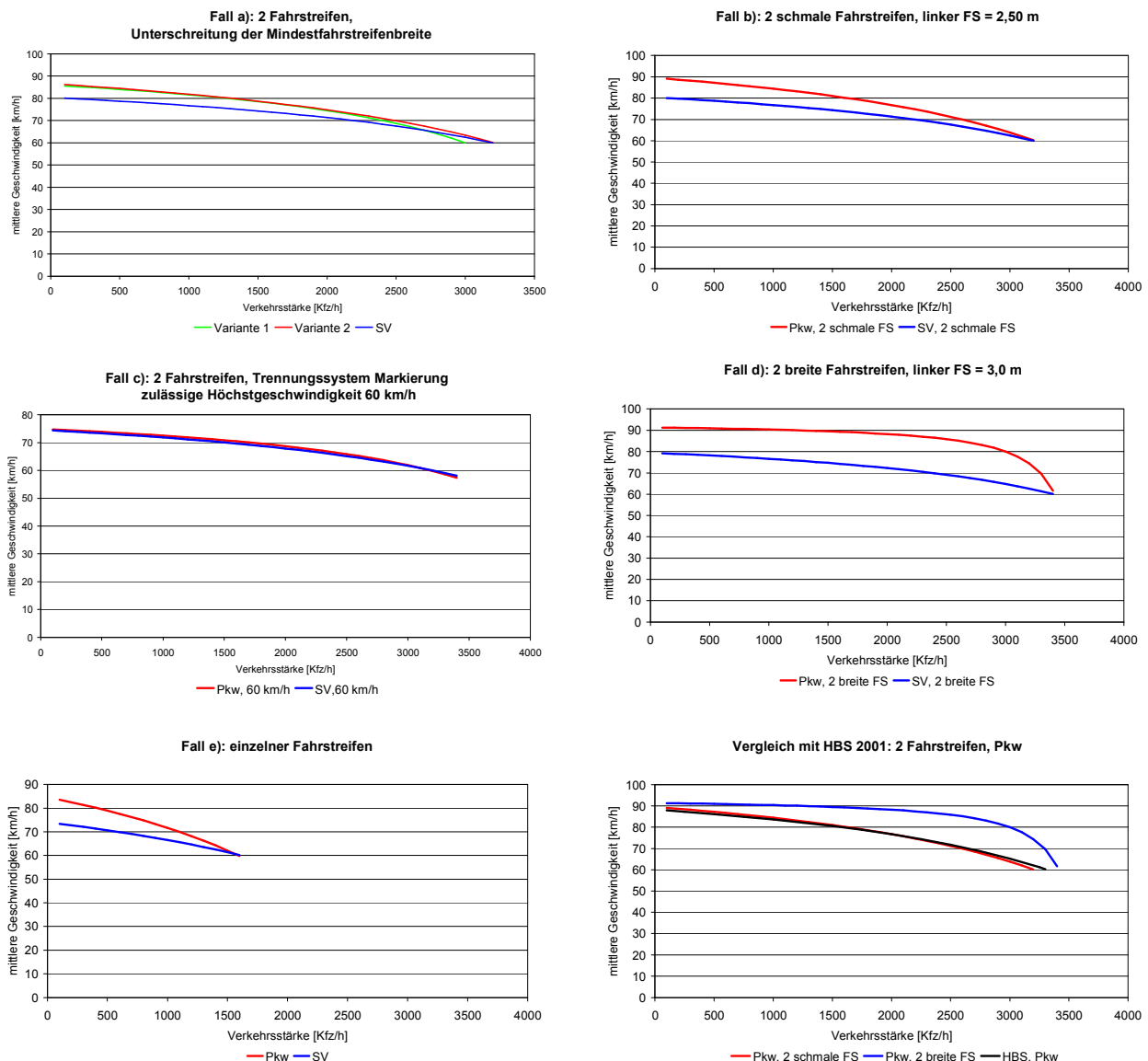


Bild 3-10: Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und mittlerer Fahrzeuggeschwindigkeit für verschiedene Untersuchungsfälle. Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet

Die Variante V1 wird als die realistischste eingeschätzt, da sowohl die Betrachtungen zu den erforderlichen Mindestfahrstreifenbreiten als auch die durchgeführten Erhe-

bungen zum Verkehrsablauf darauf hindeuten, dass aus der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten eine nicht optimale Aufteilung des Verkehrs auf die Fahrstreifen zu erwarten ist, da Überholvorgänge nicht mehr wie gewünscht durchgeführt werden können. Hieraus resultiert letztendlich eine Kapazitätsminderung.

Aufgrund des vergleichsweise geringen Einflusses der Fahrstreifenbreiten auf die q-v-Beziehungen für Fahrzeuge des Schwerverkehrs kann ferner davon ausgegangen werden, dass für Fahrzeuge des Güterverkehrs die q-v-Beziehung für den Fall der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten der q-v-Beziehung für den Fall 2 (Mindestfahrstreifenbreiten) entspricht.

Die der Auswertung zu Grunde liegenden Daten wurden an Strecken mit vergleichsweise geringen Längsneigungen (s im Regelfall $< 2,0\%$) im Bereich des Messquerschnittes ermittelt. Die Schwerverkehrsanteile lagen im Tagesmittel bei 10 bis 20%. Daher gelten die hier aufgestellten q-v-Beziehungen strenggenommen auch nur unter diesen Bedingungen. Dementsprechend wird auch im Bewertungsverfahren von diesen Randbedingungen ausgegangen. Allerdings sind die o.g. Randbedingungen für den Bereich der deutschen Autobahnen als absolut realistisch und häufig vorkommend anzusehen. Ein Einfluss der Längsneigung auf die q-v-Beziehungen ist insbesondere bei größeren Längsneigungen ($s > 4,0\%$) zu erwarten, wie dies auch in der Arbeit von FISCHER/BRANNOLTE (2006) an einer Messstrecke festgestellt wurde. Der Einfluss des Schwerverkehrsanteils auf den Verkehrsablauf wirkt sich, wie die Untersuchungen zum Fahrerverhalten in Kapitel 3.4.1 gezeigt haben, erst bei Anteilen von mehr als 30% deutlich aus.

Sollten sich also die o.g. Randbedingungen hinsichtlich Längsneigung und Schwerverkehrsanteil in der Praxis deutlich anders darstellen, können die hier aufgezeigten Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen den Verkehrsablauf möglicherweise nicht mehr ausreichend genau beschreiben. Zur Klärung der Einflüsse sind weitergehende, forschungsseitige Arbeiten erforderlich.

3.5 Auswirkung der Fahrstreifenbreite auf den Straßenoberbau

Der Straßenkörper ist ein System aus mehreren horizontalen Schichten, die unterschiedliche Funktionen erfüllen und insbesondere durch die Verkehrslast in unterschiedlicher Weise belastet werden. Die einzelnen Schichten dienen dazu, die aus den Verkehrslasten resultierenden Spannungen durch Verteilung so weit abzubauen, dass der Untergrund bzw. Unterbau der Straße die verbleibenden Spannungen schadlos aufnehmen kann. Dieses Schichtensystem bezeichnet man als Straßenoberbau. Die Schichten des Straßenoberbaus werden als Decke und 1. bis 3. Tragschicht bezeichnet. Der Straßenoberbau ruht auf dem Unterbau bzw. dem Untergrund. Die Trennschicht zwischen Oberbau und Unterbau/Untergrund wird als Planum bezeichnet (siehe Bild 3-11).

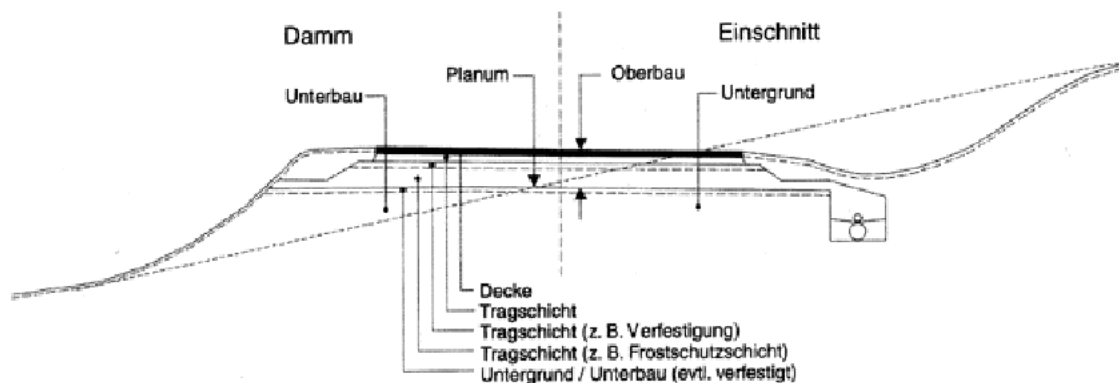


Bild 3-11: Beispielhafter Aufbau einer Straßenbefestigung (RStO 2001)

Als Materialien für den Oberbau werden bituminös gebundene Baustoffe (z.B. Asphalt), hydraulisch gebundene Baustoffe (z. B. Beton) und ungebundene Mineralstoffgemische eingesetzt. Die Decke wird im Bereich der Bundesautobahnen sowohl als Betondecke als auch als Asphaltdecke bestehend aus bituminöser Deckschicht und bituminöser Binderschicht hergestellt.

Die Tragschichten stellen meist ein System mehrerer unterschiedlicher Schichten dar, z. B. für bituminös gebundene Decken eine Kombination aus Asphalttragschicht mit darunter liegender Frostschutzschicht aus einem ungebundenen Mineralstoffgemisch.

Hinsichtlich des Verformungsverhaltens unterscheidet man starre (elastische) Systeme z. B. hydraulisch gebundene Schichten, welche auf Belastung mit überwiegend elastischen Verformungen reagieren und schon bei geringen Belastungen ihre Zugfestigkeit erreichen. Zum anderen gibt es flexible Systeme, z. B. bituminös gebundene Schichten, diese können bei Rissfreiheit relativ große plastische bzw. viskose Verformungen erleiden. So können bei diesen Schichten bei starker Verkehrsbelastung bleibende Verformungen, wie z. B. Spurrinnen, entstehen.

Schichtenart, Schichtenzahl und jeweilige Schichtdicke hängen von der Beanspruchung ab, die der Straßenkörper in einem bestimmten Nutzungszeitraum, in der Regel 30 Jahre, aufnehmen muss. Die Beanspruchungen resultieren dabei insbesondere aus der Verkehrsbelastung, den klimatischen Verhältnissen und dem Untergrund.

Die von den Fahrzeugen in die Straße eingebrachte Last wird zunächst bestimmt vom Gewicht des Fahrzeugs und von der Aufteilung dieses Gewichtes auf die Fahrzeugachsen (Achslast). Die über die Achsen abgetragene Fahrzeuglast wird schließlich über die Reifen auf die Straße gebracht. Hierbei wird die daraus entstehende Spannung zwischen Reifen und Fahrbahn von der jeweiligen Reifenaufstandsfläche bestimmt. Diese Fläche ist wiederum abhängig vom Reifentyp, Reifenaufbau und Reifeninnendruck. Die Größe der Spannung zwischen Reifen und Fahrbahn kann außerdem durch dynamische Effekte, z. B. aufgrund Fahrbahnunebenheiten die zu Schwankbewegungen des Fahrzeuges führen, vergrößert werden. Ferner muss die Straße neben den aus dem Fahrzeuggewicht resultierenden Spannungen auch alle horizontalen Kräfte, z. B. aus Beschleunigungs- oder Verzögerungsvorgängen, aufnehmen.

Um diese unterschiedlichen von Fahrzeug zu Fahrzeug differierenden Randbedingungen für eine Bemessung handhaben zu können, wird in der Praxis versucht, das Belastungskollektiv durch äquivalente Achslasten abzubilden. So wurden im AASHO-road-test festgestellt, dass sich die Befahrbarkeit einer Straße insbesondere durch große Radlasten verringert. Es besteht hierbei die so genannte Vierte-Potenz-Regel, d. h. dass sich durch eine Achslast von 100 kN die Befahrbarkeit der Straße genauso verringert wie durch 10^4 Überfahrten einer 10 kN Achse.

In Deutschland wird zur Bemessung des Straßenoberbaus ein standardisiertes Verfahren angewandt, das in den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus - RStO 2001 [FGSV 2001a] festgelegt ist. Hierbei wird eine bemessungsrelevante Beanspruchung B ermittelt, aus der sich dann eine Bauklasse ableitet. Für diese Bauklasse werden wiederum Standardformen des Oberbaus, die sich aus Erfahrungswerten und theoretischen Berechnungen als sinnvoll erwiesen haben, definiert. Hierbei werden die auftretenden unterschiedlichen Achslasten gemäß den Erkenntnissen des AASHO-road-tests auf 10-to-Standardachslasten umgerechnet. Da geringe Achslasten, z. B. von Pkw aufgrund der Vierten-Potenzregel, im Vergleich zu großen Achslasten (Lkw, Lastzüge) keinen maßgebenden Einfluss auf die Belastung des Straßenoberbaus haben, werden nur die Fahrzeuge des Schwerverkehrs (Lkw, Lastzüge, Busse, etc.) als DTV^{SV} bei der Bemessung berücksichtigt.

Die Bemessungsrelevante Beanspruchung B in äquivalenten 10-to-Achsübergängen kann gemäß RStO 2001 [FGSV 2001a] mittels zweier Methoden berechnet werden.

Methode 1: Bestimmung von B aus DTV(SV)-Werten, nach [FGSV 2001a]

$$\text{Hierbei gilt: } B = 365 * q_{BM} * f_3 * \sum_{i=1}^N [DTA_{i-1}^{SV} * f_{1i} * f_{2i} * (1 + p_i)] \quad \text{Gleichung 3-1}$$

Oder bei konstanten Faktoren f_1 , f_2 , f_3 , f_A und q_{BM} vereinfachend zu:

$$B = N * DTA^{SV} * q_{BM} * f_1 * f_2 * f_3 * f_z * 365 \quad \text{Gleichung 3-2}$$

$$\text{Mit: } DTA_{i-1}^{SV} = DTV_{i-1}^{SV} * f_{A_{i-1}} \quad \text{Gleichung 3-3}$$

$$\text{Und: } f_z = \frac{(1 + p)^N - 1}{p * N} * (1 + p) \quad \text{Gleichung 3-4}$$

B = Äquivalente 10-t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum

N = Anzahl der Jahre des zugrunde gelegten Nutzungszeitraums, in der Regel 30 Jahre

q_{BM} = Einer bestimmten Straßenklasse zugeordneter mittlerer Lastkollektivquotient, der die straßenklassenspezifische mittlere Beanspruchung der jeweiligen tatsächlichen Achsübergänge ausdrückt. Quotient aus der Summe der äquivalenten 10-t-Achsübergänge und der Summe der tatsächlichen Achsübergänge des Schwerverkehrs für einen festgelegten Zeitraum in einem Fahrstreifen.

| | |
|--------------------|---|
| $f_3 =$ | Steigungsfaktor (Längsneigung) |
| $DTV_{i-1}^{SV} =$ | Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i-1 [Fz/24h] |
| $DTA_{i-1}^{SV} =$ | Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge (Aü) des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i-1 [Aü/24h] |
| $f_{Ai-1} =$ | Durchschnittliche Achszahl pro Fahrzeug des Schwerverkehrs (Achszahlfaktor) im Nutzungsjahr i-1 |
| $f_{1,i} =$ | Fahrstreifenfaktor im Nutzungsjahr i (Berücksichtigung der Fahrstreifenanzahl je Fahrtrichtung) |
| $f_{2,i} =$ | Fahrstreifenbreitenfaktor im Nutzungsjahr i (Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite) |
| $p_i =$ | Mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i |

Methode 2: Bestimmung von B anhand von Achslastdaten, nach [FGSV 2001a]

$$B = 365 * f_3 * \sum_{i=1}^N [EDTA_{i-1}^{(SV)} * f_{1i} * f_{2i} * (1 + p_i)] \quad \text{Gleichung 3-5}$$

$$\text{Mit: } EDTA_{i-1}^{(SV)} = \sum_k [DTA_{(i-1)k}^{(SV)} * (\frac{L_k}{L_0})^4] \quad \text{Gleichung 3-6}$$

Ergänzend zu den schon bei Methode 1 genannten Faktoren bedeuten:

$EDTA_{i-1}^{(SV)}$ = Durchschnittliche Anzahl der täglichen äquivalenten Achsübergänge im des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i-1

K = Lastklasse, als Gruppe von Einzelachslasten definiert

L_k = mittlere Achslast in der Lastklasse k

L_0 = Bezugsachslast: 10 to

Auswirkung der Verminderung der Fahrstreifenbreiten im Zuge einer Behelfsverkehrsführung

Für die im Rahmen dieser Dissertation behandelte Fragestellung ist die Größe des Fahrstreifenbreitenfaktors von besonderer Bedeutung. Dieser sagt letztendlich aus, inwieweit sich die Verringerung der Fahrstreifenbreite auf Spurwahl und Spurtreue und somit auf die Belastung des Straßenoberbaus auswirkt. Eine Verringerung der Fahrstreifenbreite von 3,75 m auf 3,0 m würde bei sonst gleichen Randbedingungen nach RStO 2001 [FGSV 2001a] somit einer 40%-igen Steigerung der Belastung des Straßenoberbaus bedeuten (s. Bild 3-12, Fahrstreifenbreite 3,0 m, Fahrstreifenbreitenfaktor $f_2 = 1,4$). Im Bereich von Behelfsverkehrsführungen werden solche geringeren Fahrstreifenbreiten jedoch für einen, verglichen mit der Gesamtlebensdauer der Straße, geringen Zeitraum eingerichtet. Dies ist bei der Abschätzung der Folgen geringer Fahrstreifenbreiten für den Straßenoberbau zu berücksichtigen.

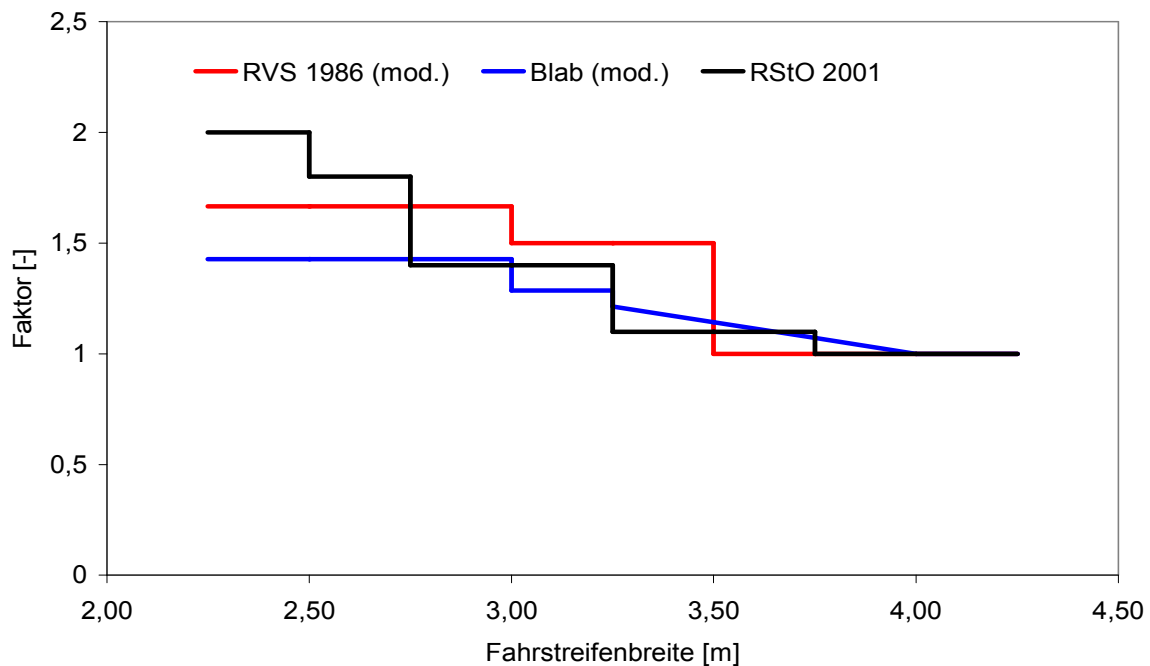


Bild 3-12: Faktoren zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreiten nach [FSV 1986], [BLAB 1995] und [FGSV 2001a] sowie den Modifikationen entsprechend Tabelle 3-20

| Fahrstreifenbreite | RVS | RVS mod. | Blab | Blab mod. |
|--------------------|------|----------|------|-----------|
| < 3,00 | 1,00 | 1,67 | 1,00 | 1,43 |
| 3,00 | 0,90 | 1,50 | 0,90 | 1,29 |
| 3,25 | 0,90 | 1,50 | 0,85 | 1,21 |
| 3,50 | 0,90 | 1,50 | 0,80 | 1,14 |
| 3,75 | 0,60 | 1,00 | 0,75 | 1,07 |
| ≥ 4,00 | 0,60 | 1,00 | 0,70 | 1,00 |

Tabelle 3-21: modifizierte Faktoren zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreiten; [FSV 1986], [BLAB 1995]

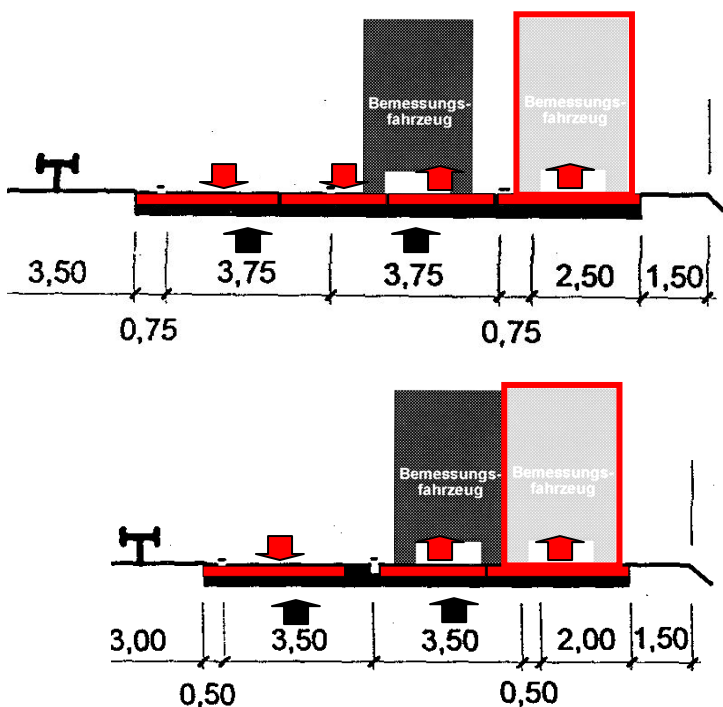


Bild 3-13: Lage der Fahrstreifen bei den Autobahnquerschnitten RQ 29,5 (oben) und RQ 26 (unten) bei Normal- (schwarz) und Behelfsverkehrs-führung 4s+0 bzw. 3s+1 (rot)

Die in den RStO 2001 [FGSV 2001a] vorgesehenen Faktoren zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreiten korrespondieren insbesondere für den relevanten Bereich von 2,75 m bis 3,75 m sehr gut mit den in der Untersuchung von BLAB (1995) ermittelten Faktoren. Die Übereinstimmung mit den österreichischen Richtlinien RVS 3.63 [FSV 1986] ist deutlich schlechter. Diese liegen im o.g. Breitenbereich deutlich über den Werten der RStO 2001 [FGSV 2001a] sowie BLAB (1995), d. h. sie liegen auf der sicheren Seite (vgl. Bild 3-12).

Die Modifikation der Werte von RVS [FSV 1986] und BLAB (1995) wurde dahingehend vorgenommen, dass der Faktor der größten angegebenen Fahrstreifenbreite entsprechend der Vorgabe der RStO [FGSV 2001a] zu 1,0 festgesetzt wurde. Somit wurden alle Faktoren der RVS [FSV 1986]

und von BLAB (1995) auf diese 1,0 bezogen (Tabelle 3-20).

Da im Bereich von Behelfsverkehrsführungen der Formen 4s+0 und 3s+1 die jeweils linken Fahrstreifen mittels Zeichen 264 StVO für die Fahrzeuge des Schwerverkehrs gesperrt sind, kann sich die Betrachtung des Einflusses der Fahrstreifenbreite auf den Straßenoberbau auf den jeweils rechten Fahrstreifen beschränken. Nur auf diesen Fahrstreifen ist mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs zu rechnen. Allerdings ist daher auch zu berücksichtigen, dass sich die Fahrzeuge des Schwerverkehrs nun ausschließlich auf diesen Fahrstreifen konzentrieren. Somit muss bei der Bemessung gemäß RStO [FGSV 2001a] der Fahrstreifenfaktor zu 1,0 bzw. 0,5, je nachdem ob eine richtungsbezogener oder ein querschnittsbezogener DTV(SV) vorliegt, gewählt werden.

Ferner ist festzustellen, dass die durch Reifenüberrollungen am stärksten belasteten Abschnitte des Querschnittes nicht zwangsläufig bei Normalverkehrsführung und Behelfsverkehrsführung identisch sind. So ergeben sich beispielsweise bei einem Querschnitt RQ 29,5 mit einer Breite der befestigten Fläche von 11,50 m und einer Verkehrsführung 4s+0 die in Bild 3-13 dargestellten Situationen. Der äußere rechte Fahrstreifen liegt bei einer Verkehrsführung 4s+0 fast vollständig im Bereich des eigentlichen Standstreifens, der eigentliche rechte Fahrstreifen muss von Fahrzeugen des Schwerverkehrs nicht mitbenutzt werden. Hingegen wird bei einem Querschnitt RQ 26 mit 10,0 m Breite der befestigten Fläche der rechte Fahrstreifen, bei einer Verkehrsführung 3s+1, durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs mitbenutzt. Hieraus lassen sich zwei Aussagen ableiten:

- Der Standstreifen muss so ausgebildet werden, dass er die auftretenden Lasten während der Behelfsverkehrsführung aufnehmen kann. Weist der Standstreifen dieselbe Oberbaukonstruktion auf wie die Fahrstreifen, dann ist dies in jedem Fall gewährleistet. Unter Punkt 2.6.5 heißt es dazu in den RStO 2001 [FGSV 2001a]: „ (...) Standstreifen sind in der Regel in gleicher Bauweise und Dicke wie die Fahrstreifen der durchgehenden Fahrbahn vorzusehen.“
- Der eigentliche rechte Fahrstreifen muss im Falle einer Behelfsverkehrsführung je nach Querschnittstyp und Behelfsverkehrsführung von Fahrzeugen des Schwerverkehrs mitbenutzt werden. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass sich die am stärksten belasteten Bereiche des Querschnittes bei normaler Verkehrsführung und Behelfsverkehrsführung überlagern (z. B. 3s+1 Verkehrsführung bei 10,0 m Fahrbahnbreite).

Im Folgenden wird daher davon ausgegangen, dass die Belastungen des Straßenoberbaus sich bei Normalverkehrsführung und Behelfsverkehrsführung überlagern. Dies stellt den ungünstigsten, nicht auszuschließenden Fall dar.

Um den Einfluss von Behelfsverkehrsführungen auf den Straßenoberbau abzuschätzen, wurde der Quotient f_{AS} ermittelt. Durch f_{AS} wird ausgedrückt, inwieweit sich die Belastung des Straßenoberbaus im Zeitraum von 30 Jahren erhöht, wenn infolge der Behelfsverkehrsführung die Fahrstreifenbreite vermindert wird. Die Belastungsänderung des Oberbaus B_{diff} ist dabei die Differenz zwischen der Zahl der äquivalenten 10-t Achsübergänge, die während eines Zeitraumes n mit Behelfsverkehrsführung und während des gleichen Zeitraumes ohne Behelfsverkehrsführung entstehen.

Bei der Ermittlung von f_{AS} wurde berücksichtigt, dass sich bei Behelfsverkehrsführungen während des Zeitraumes n die Fahrstreifenbreite verringert und sich der Schwerverkehr vollständig auf dem rechten Fahrstreifen konzentriert.

Als Randbedingung wurde ferner festgelegt, dass die Verkehrsstärke durch die Einrichtung der Behelfsverkehrsführung nicht beeinflusst wird. In der Praxis ist unter gewissen Randbedingungen ein Umfahren der Arbeitsstelle durch den Schwerverkehr nicht auszuschließen, so dass sich die Verkehrsstärken möglicherweise während einer Behelfsverkehrsführung verringern könnten.

Der Quotient von f_{AS} erfolgte folgendermaßen:

1. Ermittlung von B gemäß Methode 1 (Gleichungen 3-1 bis 3-4) unter Voraussetzung einer durchgängigen Normalverkehrsführung, d. h. ohne Behelfsverkehrsführungen im Betrachtungszeitraum N von 30 Jahren. B gibt damit an, welche Belastungen (äquivalente 10-t-Achsübergänge) im Nutzungszeitraum von 30 Jahren ohne Behelfsverkehrsführungen zu erwarten sind. Dabei ist der DTV^{SV} eine variable Größe, die weiteren Faktoren wurden wie folgt gewählt:
 - $N = 30$ Jahre (Regelwert nach RStO 2001)
 - $q_{BM} = 0,26$ (Bundesautobahn, gem. Tab. A1.2, RStO 2001)
 - $f_1 = 0,9$ (2 Fahrstreifen je Fahrtrichtung, gem. Tab. A1.3, RStO 2001)
 - $f_2 = 1,0$ (Fahrstreifenbreite = 3,75 m, gem. Tab. A1.4, RStO 2001)
 - $f_3 = 1,0$ (Höchstlängsneigung unter 2%, gem. Tab. A1.5, RStO 2001)
 - $p_i = 0,03$ (Bundesautobahn, gem. Tab. A1.6, RStO 2001)
 - $f_A = 4,2$ (Bundesautobahn, gem. Tab. A1.1, RStO 2001)
2. Ermittlung der Zahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge B_n während eines Zeitraumes n mit $n < N$ bei Normalverkehrsführung. Für n wird hierbei der Zeitraum eingesetzt, bei dem während des Nutzungszeitraumes N eine Behelfsverkehrsführung eingerichtet wird. In Gleichung 3-2 wird N zu n gesetzt, der Faktor f_z wird hingegen konstant gehalten.
3. Ermittlung der Zahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge B_{nAS} während eines Zeitraumes n mit $n < N$ bei Behelfsverkehrsführung mit reduzierten Fahrstreifenabmessungen. Hierbei wird N in Gleichung 3-2 wieder zu n gesetzt, der Faktor f_z wird konstant gehalten. Hingegen wurden die Faktoren
 - f_1 zu 1,0 gesetzt
 - f_2 bei einer Breite des rechten Fahrstreifens von mindestens 3,25 m zu 1,1
 - f_2 bei einer Breite des rechten Fahrstreifens von weniger als 3,25 m zu 1,4 gesetzt
4. Ermittlung der Mehrbelastung B_{diff} durch Behelfsverkehrsführungen als Differenz zwischen B_n und B_{nAS} .
5. Ermittlung der Gesamtbelastung B_{AS} als Summe von B und B_{diff} .
6. Ermittlung von f_{AS} mit $f_{AS} = B_{AS} / B$. Hieraus ergibt sich, dass f_{AS} von der Verkehrsstärke unabhängig ist.

Die Größenordnung von f_{AS} (Bild 3-14) macht deutlich, dass sich die Einrichtung einer Behelfsverkehrsführung im Regelfall nur unmaßgeblich auf die Belastung des Straßenoberbaus auswirkt. Die bemessungsrelevante Beanspruchung B wird selbst

unter ungünstigen Bedingungen (Überlagerung der am höchstbelasteten Querschnittsbereiche bei Normalverkehrsführung und Behelfsverkehrsführung) bei einer, aufgrund der in Kapitel 2.2.3 dargestellten Befragungsergebnisse angenommenen, Gesamtdauer von Behelfsverkehrsführungen für grundlegende Erneuerung und Deckenerneuerung von ca. 1/2 Jahr im 30 jährigen Lebenszyklus der Straße lediglich um 0,4 % bei Fahrstreifenbreite von $\geq 3,25\text{m}$ bzw. 0,9 % bei Fahrstreifenbreiten zwischen 2,75 m und 3,25 m erhöht. Verglichen mit der Genauigkeit der Angaben zur Verkehrsbelastung im Nutzungszeitraum ist diese Mehrbelastung, insbesondere bei einer geringen Verminderung der Fahrstreifenbreite auf Werte unterhalb der Angaben der RSA 1995 [BMVBW 1995], als nicht maßgeblich für die Dimensionierung des Straßenoberbaus anzusehen.

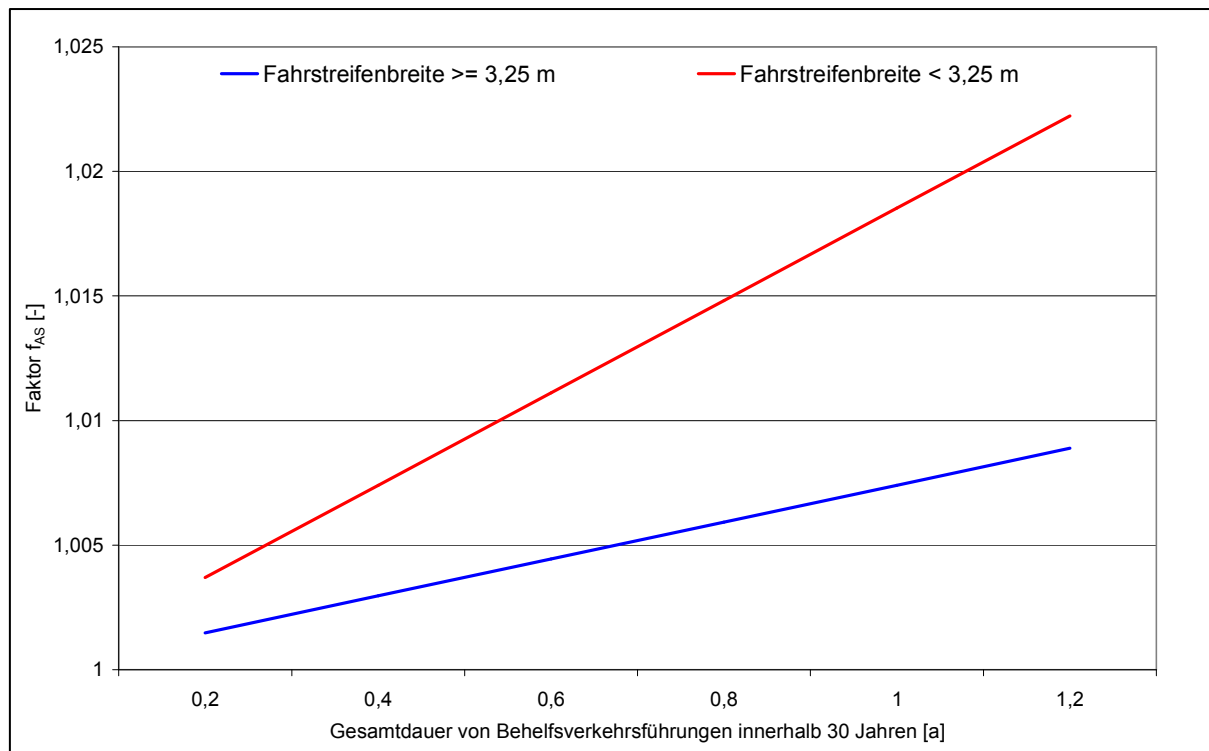


Bild 3-14: Faktor f_{AS} zur Berücksichtigung zusätzlicher Belastungen auf den Straßenoberbau infolge Arbeitsstellen längerer Dauer [eigene Darstellung]

4. Bewertungsverfahren

4.1 Auswahl eines Bewertungsverfahrens

Insgesamt scheint zur Bewertung der hier vorliegenden Fragestellung die Anwendung eines monetär ausgerichteten Bewertungsverfahrens auf Basis eines, für den Bereich von Straßen erprobten, Verfahrens zielführend zu sein. Die häufig als Nachteil monetärer Verfahren angeführte Tatsache, dass sich einige Aspekte, wie zum Beispiel soziale Beziehungen, visuelle Beeinträchtigungen von Stadt- und Landschaftsbild und Beeinträchtigungen der natürlichen Lebensräume für Flora und Fauna nicht oder nur schwer monetär bewerten lassen, stellt für die hier vorliegende Fragestellung keinen Nachteil dar, da hinsichtlich dieser Aspekte keine relevanten Wirkungen der zu betrachtenden Varianten erwartet werden. Vielmehr werden sich die Unterschiede der betrachteten Varianten in erster Linie auf die Bereiche der Baukosten, des Verkehrsablaufes und der Verkehrssicherheit beschränken. Diese Effekte können aber mit monetären Bewertungsverfahren vergleichsweise gut berücksichtigt werden, wobei klar ist, dass bei der Bewertung der Verkehrssicherheit, das infolge der Unfälle entstehende menschliche Leid nicht monetär bewertet werden kann.

Aufgrund der besseren Eignung für kleinere Maßnahmen und die Fokussierung auf Straßeninfrastruktur wurde das Verfahren nach EWS 1997 [FGSV 1997] als Basis für die hier geführte vergleichende Bewertung verwendet. Hinzu kommt, dass das Verfahren nach EWS 1997 eine vergleichsweise offene Struktur aufweist, so dass es sich prinzipiell gut auf Anforderungen spezieller Fragestellungen anpassen lässt.

Mit dem Verfahren nach EWS werden Nutzen gesamtwirtschaftlich bewertet. Dazu wird jeweils ein Vergleichsfall (z. B. Zustand bei Nichtrealisierung einer Maßnahme, Nullfall) mit einem Planfall (Realisierung einer bestimmten Planungsvariante) verglichen. Nutzen einer Maßnahme entsteht dabei dadurch, dass sich die Nutzenkomponenten in Planfall und Vergleichsfall hinsichtlich ihrer Größe unterscheiden. Werden beispielsweise durch die Realisierung einer Maßnahme die Reisezeiten gegenüber dem Vergleichsfall gesenkt, resultiert hieraus ein volkswirtschaftlich bewertbarer Nutzen.

Für verschiedene Nutzenkomponenten werden die sich für Vergleichsfall und Planfall ergebenden Mengen (z. B. Reisezeiten oder Schadstoffausstoß) ermittelt und monetarisiert. Im Schritt der Synthese werden dann den Nutzenkomponenten (Mengengerüst) Wertansätze (Wertegerüst) zugeordnet und die einzelnen Komponenten vergleichbar gemacht. So werden z. B. die aus dem Vergleich von Planfall und Vergleichsfall ermittelten Reisezeitgewinne in Stunden mit einem volkswirtschaftlich ermittelten Stundensatz (€/h) multipliziert und somit der aus den Reisezeitgewinnen resultierende volkswirtschaftliche Nutzen in € ermittelt. Die Monetarisierung der einzelnen Komponenten erfolgt dabei auf Basis verschiedener Ansätze, wie durch Marktpreise oder durch Hilfskonstruktionen, die z. B. auf einem Vermeidungskostenansatz beruhen.

Allerdings müssen für die Realisierung der Maßnahme gleichzeitig Finanzmittel aufgebracht werden, zum einen als Investitionskosten und zum anderen als laufende Kosten, beispielsweise für den Betrieb der Verkehrsanlagen. Die Nutzen können dann den, durch die Umsetzung des Planfalles gegenüber dem Vergleichsfall entstehenden Kosten, resultierend aus Investitionskosten und laufenden Kosten, gegenüber gestellt werden. Da die Kosten und Nutzen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und sowohl einmalig, periodisch und kontinuierlich anfallen, werden die Kosten und Nutzen auf jährliche Kosten umgerechnet (annuisiert) und auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogen. Dazu müssen die annuisierten Kosten auf- bzw. abgezinst werden.

4.2 Untersuchte Varianten, Betrachtungszeitraum, Betriebszustände und Verkehrsstärken

4.2.1 Varianten

Entsprechend den in Kapitel 2.2.4 dargestellten Lösungsansätzen wurden im Rahmen der volkswirtschaftlichen Betrachtung für Breiten der befestigten Fläche von 10,0 m bis 12,0 m die in Tabelle 4.1 dargestellten Varianten betrachtet. Hierbei wurde die Breite der befestigten Flächen jeweils in 0,5 m Schritten variiert.

| Breite der befestigten Fläche | Variante | Verkehrsführung | Trennungssystem | Fahrstreifenbreiten |
|----------------------------------|----------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|
| 10,0 m | V 1.1 | 3s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,25/2,75//0,5//3,50 |
| 10,0 m | V 1.2 | 3s+1 | Transp. Schutzeinr. | 3,25/2,75//0,5//3,50//MS//3,25 |
| 10,0 m (Aufweitung auf 12,0m) | V 1.3 | 4s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,25/2,50//0,5//2,50/3,25 |
| 10,5 m | V 2.1 | 3s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,5/3,0//0,5//3,5 |
| 10,5 m | V 2.2 | 3s+1 | Transp. Schutzeinr. | 3,5/3,0//0,5//3,5//MS//3,25 |
| 10,5 m (Aufweitung auf 12,0m) | V 2.3 | 4s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,25/2,50//0,5//2,50/3,25 |
| 11,0 m | V 3.1 | 3s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,75/3,0//0,5//3,75 |
| 11,0 m | V 3.2 | 3s+1 | Transp. Schutzeinr. | 3,75/3,0//0,5//3,75//MS//3,25 |
| 11,0 m (Aufweitung auf 12,0m) | V 3.3 | 4s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,25/2,50//0,5//2,50/3,25 |
| 11,5 m | V 4.1 | 3s+0 | Transp. Schutzeinr. | 1,75/3,25/2,5//0,5//3,50 |
| 11,5 m | V 4.2 | 3s+1 | Transp. Schutzeinr. | 1,75/3,25/2,50//0,5//3,50//MS//3,25 |
| 11,5 m (Aufweitung auf 12,0m) | V 4.3 | 4s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,25/2,50//0,5//2,50/3,25 |
| 11,5 m | V 4.4 | 4s+0 | Markierung | 3,25/2,50//0,0//2,50/3,25 |
| 11,5 m | V 4.5 | 4s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,00/2,50//0,5//2,50/3,00 |
| 12,0 m | V 5.1 | 4s+0 | Transp. Schutzeinr. | 3,25/2,50//0,5//2,50/3,25 |

Tabelle 4-1: Im Rahmen der KNA untersuchte Varianten; Spalte Fahrstreifenbreiten: Angabe der Breite der einzelnen Fahrstreifen von links nach rechts in m und soweit vorhanden des 0,5 m breiten Trennstreifens und eines 1,75 m breiten Seitenstreifens, Abk.: MS-Mittelstreifen

Für Breiten von 10,0 m, 10,5 m und 11,0 ergeben sich drei und für eine Breite von 11,5 m fünf sinnvolle Varianten aus Verkehrsführung und Trennungssystem. Unterhalb dieser Ebene ergeben sich infolge der Variation von einzelnen Berechnungsan-

sätzen weitere Untervarianten. Bei einer Breite von 12,0 m, wie sie zukünftig zumindest für den Neubau von vierstreifigen Bundesautobahnen als Regelfaß vorgesehen ist, kann eine Verkehrsführung 4s+0 mit einer Fahrtrichtungstrennung aus transportablen Schutzeinrichtungen eingerichtet werden. Da dies das mögliche Optimum darstellt, wird für diesen Fall auf weitere Varianten verzichtet. Gleichzeitig ermöglicht der Vergleich der anderen Varianten auf Basis geringerer Fahrstreifenbreiten mit Variante V5.1 eine Aussage darüber, inwieweit die anderen Varianten an das mögliche Optimum heranreichen.

4.2.2 Betrachtungszeitraum

Als Betrachtungszeitraum für die Untersuchung werden 30 Jahre angesetzt. Dies entspricht dem in den RStO 2001 [FGSV 2001a] angesetzten Nutzungszeitraum für den Straßenoberbau. Für die volkswirtschaftliche Betrachtung wird dabei für die Fahrbahndecke von einer Lebensdauer von 15 Jahren ausgegangen. Bei den restlichen Schichten des Oberbaus wird eine Lebensdauer von 30 Jahren angenommen. Entsprechend dieser Abschreibungszeiträume wird davon ausgegangen, dass 15 Jahre nach Neubau bzw. nach der letzten grundhaften Erneuerung der Straße eine Deckenerneuerung und 30 Jahre nach Neubau bzw. der letzten grundhaften Erneuerung eine erneute grundhafte Erneuerung der Straße durchgeführt wird.

Vereinfachend wird im Rahmen dieser Untersuchung entsprechend den Annahmen von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) davon ausgegangen, dass für die Sanierung der Brückenbauwerke keine zusätzlichen Arbeitsstellen mit vollständiger Sperrung einer Richtungsfahrbahn berücksichtigt werden. In der Realität wird möglicherweise nicht in allen Fällen eine Kopplung der Maßnahmen stattfinden können, wodurch dann zusätzliche Arbeitsstellen eingerichtet werden müssen.

Somit ergibt sich für den Investitionsablauf für die betrachteten 30 Jahre folgendes Bild:

- | | |
|----------|---|
| Jahr 0: | Grundhafte Erneuerung des Straßenoberbaus (Decke und Tragschichten) beider Richtungsfahrbahnen, Umfang 20% der Gesamtinvestitionskosten |
| Jahr 1: | 1. Januar ist Bezugszeitpunkt und Beginn der Abschreibung der Teilleistungen |
| Jahr 15: | Deckenerneuerung beider Richtungsfahrbahnen, Umfang 7% (Variante 4%) der Gesamtinvestitionskosten |
| Jahr 30: | 31. Dezember ist Ende des Betrachtungszeitraums, eine grundhafte Erneuerung des Straßenoberbaus ist im Folgejahr erforderlich. |

4.2.3 Betriebszustände

Im Lebenszyklus einer Autobahn treten im Wesentlichen zwei für die hier erforderliche Betrachtung relevante Betriebszustände auf:

- **Normalverkehrszustand**
Der Zeitraum, in dem keine Arbeitsstelle längerer Dauer im betrachteten Streckenabschnitt betrieben wird, wird als Normalverkehrszustand bezeichnet.
- **Arbeitsstelle längerer Dauer mit Verkehrsführung 3s+0, 3s+1 und 4s+0**
Müssen an der Fahrbahn oder den Brückenbauwerken umfangreiche Baumaßnahmen, z.B. Erneuerung der Deckschichten oder Erneuerung des kompletten Oberbaus durchgeführt werden, ist eine Richtungsfahrbahn vollständig bzw. bis auf einen Behelfsfahstreifen zu sperren. Hieraus ergibt sich im Allgemeinen das Erfordernis, eine der o.g. Behelfsverkehrsführungen einzurichten.

Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) beschränken sich in den meisten Fällen auf den Bereich des Mittelstreifens oder des rechten Fahrbahnrandes. Wobei die Breite der befestigten Fläche Auswirkungen auf die Durchführung der Arbeiten haben kann. So kann bei einer Breite von 10,50 m bei Sperrung des linken Fahrstreifens keine Seitenstreifenfreigabe erfolgen. Auch Arbeiten auf dem Seitenstreifen können bei dieser Breite nicht ohne Sperrung des rechten Fahrstreifens erfolgen. Hieraus können beim Vergleich verschiedener Querschnitte Unterschiede hinsichtlich des Verkehrsablaufes resultieren, die entsprechend berücksichtigt werden müssen. Da im hier vorliegenden Fall verschiedene Behelfsverkehrsführungen im Zuge von Arbeitsstellen längere Dauer bei jeweils gleichen Querschnittsabmessungen miteinander verglichen werden, kann im Rahmen dieser Untersuchung auf die Berücksichtigung des Einflusses von Arbeitsstellen kürzerer Dauer zunächst verzichtet werden. Allerdings kann für den Fall einer Querschnittsverbreiterung, wie bei den Varianten V1.3, V2.3, V3.3 und V4.3, und einer auch nach Beendigung der Baumaßnahmen zur Verfügung stehenden breiteren befestigten Fläche mit positiven Effekten auf den Verkehrsablauf im Falle von Arbeitsstellen kürzerer Dauer gerechnet werden. Eine solche Abschätzung erfolgt im Rahmen einer gesonderten Betrachtung im Anschluss an das eigentliche Bewertungsverfahren.

Häufigkeit und Dauer der Betriebszustände

Wie in Kapitel 2.2.3 aufgezeigt, differieren die Angaben zur Dauer von Arbeitsstellen längerer Dauer an Autobahnen, insbesondere bei grundhaften Erneuerungsmaßnahmen deutlich. Um auch die offensichtlich auftretenden großen Spannweiten der Arbeitsstellendauern bei grundhaften Erneuerungen in der Untersuchung zu berücksichtigen, wurde die Arbeitsstellendauer pro Richtungsfahrbahn in drei Stufen variiert. Die Arbeitsstellendauer bei grundhaften Erneuerungen wurden im Berechnungsverfahren zu 50, 100 und 150 Tagen angesetzt.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich die Dauer immer auf eine Verkehrsführung mit vollständiger Sperrung einer Richtungsfahrbahn bezieht. Verlängert sich die Ausführungsdauer z. B. aufgrund einer Verkehrsführung 3s+1, muss diese längere Bauzeit entsprechend zusätzlich berücksichtigt werden. Daher wird im Berechnungsverfahren die Dauer der Arbeitsstelle bei Verkehrsführung 3s+1, entsprechend der in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Erkenntnisse, um 30 % verlängert. Um den Einfluss dieser

Festlegung auf die Ergebnisse abzuschätzen wird, im Sinne einer kritischen Abschätzung als Untervariante der zusätzliche Zeitaufwand auch mit 20 % abgeschätzt. Für den Fall einer Deckenerneuerung stimmten die Angaben zur Arbeitsstellendauer weitgehend überein, so dass bei einer mittleren Arbeitsstellenlänge von ca. 5 km und einer Dauer von ca. 6 Tagen pro km von einer Dauer von 30 Tagen ausgegangen werden kann. Daher wurde im Berechnungsverfahren für den Fall einer Deckenerneuerung im 15. Jahr pro Fahrtrichtung von einer Arbeitsstellendauer von 30 Tagen ausgegangen.

| | Häufigkeit | Dauer pro Richtungsfahrbahn |
|------------------------------|---------------|-----------------------------|
| Deckenerneuerung | alle 15 Jahre | 30 Tage |
| Grundhafte Erneuerung | alle 30 Jahre | 50, 100, 150 Tage |

Tabelle 4-2: Ansätze von Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen längerer Dauer für die Kosten- Nutzen- Analyse

Ferner ist zu berücksichtigen, dass im Falle einer Fahrbahnverbreiterung wie in den Varianten V 1.3, V 2.3, V 3.3 und V 4.3 eine zusätzliche Arbeitsstelle eingerichtet werden muss. Die Dauer einer solchen Arbeitsstelle wurde aufgrund der Angaben des ASV Frankfurt mit 5 Wochen abgeschätzt. Zur Quantifizierung der Wirkungen einer längeren bzw. kürzeren Dauer wurde die Berechnung auch mit Arbeitsstellendauern von ca. 3 bzw. ca. 7 Wochen durchgeführt. Weiter wurde davon ausgegangen, dass die Verbreiterung am rechten Fahrbahnrand stattfindet und die Arbeiten im Zuge einer 2n+2 Verkehrsführung durchgeführt werden können. Das heißt, nur im Bereich der baustellenzugewandten Fahrtrichtung muss eine Behelfsverkehrsführung eingerichtet werden.

4.2.4 Weitere Festlegungen

Die zu betrachtenden Regelquerschnitte haben, bezogen auf die Verkehrsstärke, einen Einsatzbereich von ca. 20.000 Kfz/24h bis 70.000 Kfz/24h. Daher wurden im Rahmen der Nutzen-Kosten-Betrachtung die Verkehrsstärken in diesem Bereich mit einer Schrittgröße von 10.000 Kfz/24h variiert. Die Berechnungen wurden für einen Güterverkehrsanteil (Lkw > 2,8 t, Lastzug und Bus) von 20 % durchgeführt. Dies entspricht in etwa dem mittleren Güterverkehrsanteil, der für Dauerzählstellen auf BAB im Jahr 2000 mit 18,6 % ermittelt wurde [LAFFONT/NIERHOFF/SCHMIDT 2002]. Für die weiteren Berechnungen wurde ferner davon ausgegangen, dass der Schwerverkehrsanteil (Lkw > 3,5 t, Lastzug) entsprechend der Angaben von LAFFONT/NIERHOFF/SCHMIDT (2002) bei ca. 15 % liegt.

Der Anteil der Dieselfahrzeuge am Pkw-Gesamtbestand wurde entsprechend der Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes für das Jahr 2005 mit 20 % angenommen. Als Längsneigung wird zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen von einer rechnerischen Längsneigung von 2 % ausgegangen. Die Größe der Längsneigung wirkt sich im angewendeten Bewertungsverfahren nicht auf Fahrzeiten und Unfallgeschehen aus.

Für den Fall einer Behelfsverkehrsführung 2n+2, die im Falle einer vor der Baumaßnahme durchzuführenden Fahrbahnverbreiterung erforderlich wird, wurden ebenfalls die Barwerte der o. g. Komponenten ermittelt. Es wurde dabei davon ausgegangen, dass die Baumaßnahme im Vorfeld der im Betrachtungsjahr 0 durchzuführenden Baumaßnahmen, ebenfalls im Betrachtungsjahr 0 erfolgt. Die Dauer der Arbeitsstelle wurde dabei mit 35 Tagen angenommen. Die Änderungen, die sich infolge einer längeren bzw. kürzeren Bauzeit ergeben, wurden abgeschätzt und werden in Kapitel 5.4 erläutert.

Die Berechnungen wurden generell für einen Autobahnabschnitt mit 1 km Länge durchgeführt, die durchschnittliche Arbeitsstellenlänge wurde mit 5 km angenommen.

4.3 Umsetzung des Bewertungsverfahrens

4.3.1 Wahl der Nutzen- und Kostenkomponenten

Für das Ziel der Minimierung des gesamtwirtschaftlichen Ressourcenverbrauches wurden in Anlehnung an die EWS 1997 [FGSV 1997] die folgenden Komponenten, durch die jeweils ein Teil des gesamten Ressourcenverbrauches beschrieben wird, zur Bewertung der einzelnen Varianten gewählt:

- Investitionskosten
- Laufende Kosten
- Betriebskosten
- Fahrzeit
- Unfallgeschehen
- Schadstoff und Klimabelastung

Auf die in den EWS ferner vorhandenen Komponenten Lärm, Trennwirkung von Straßen und Flächenverfügbarkeit wurde verzichtet. Diese Komponenten sind für die vorliegende Fragestellung nicht relevant, da

- Autobahnen im Regelfall im unbebauten Gebiet liegen,
- die Zahl der betroffenen Anwohner nicht pauschal abgeschätzt werden kann, im übrigen im Bereich von Überlandautobahnen eher als gering anzusehen ist und
- in die Berechnung des Mittelungspegels nur Größen (z. B. Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung, Fahrbahndecke, zulässige Höchstgeschwindigkeit, Abstand Emissionsort-Immisionsort) eingehen, die von den betrachteten Varianten der Behelfsverkehrsführungen nur unmaßgeblich beeinflusst werden. So ergibt sich zwar eine Änderung der v_{zul} im Bereich von Arbeitsstellen mit Trennung durch Nagelreihe ohne Sichtzeichen von 80 km/h auf 60 km/h im Vergleich zum Einsatz von transportablen Schutzeinrichtungen. Ferner können sich Unterschiede der Lärmbelastung aus unterschiedlichen Dauern der Baumaßnahmen, z. B. im Vergleich 3s+1 Verkehrsführung mit 4s+0 Verkehrsführung ergeben. Die hieraus resultierenden Effekte werden aber im Hinblick auf die Häufigkeit und Dauer einer solchen Zustandes als nicht relevant für das Gesamtergebnis eingeschätzt.

Nachfolgend werden die berücksichtigten Komponenten beschrieben und die in diesem Verfahren notwendigen Anpassungen und gewählten Ansätze erläutert. Weitergehende Aussagen zu den Komponenten können insbesondere den EWS 1997 [FGSV 1997] und dem Kommentar zu den EWS [BRANNOLTE et. al. 1997] entnommen werden.

Investitionskosten

Investitionskosten sind die Kosten, die der Träger der Straßenbaulast durch die vorgesehene Maßnahme für den Bau investieren muss. Für die hier vorliegende Aufgabenstellung sind als Investitionskosten die Kosten anzusehen, die für die Baumaßnahmen Grundhafte Erneuerung und Deckenerneuerung im Betrachtungszeitraum anfallen. Gegebenenfalls sind auch Investitionskosten für eine vorherige Fahrbahnverbreiterung zu berücksichtigen.

Laufende Kosten

Laufende Kosten sind die ständig wiederkehrenden Ausgaben, die dem Straßenbaulastträger beim Betrieb der Straße anfallen. Diese Kosten resultieren z. B. aus den Ausgaben für den Straßenbetriebsdienst. Für die hier vorliegende Aufgabenstellung sind als laufende Kosten die Ausgaben anzusetzen, die für Einrichtung, Betrieb und Abbau der Behelfsverkehrsführung anfallen.

Veränderung der Betriebskosten

Unter Betriebskosten sind gemäß EWS 1997 [FGSV 1997] Kosten zu verstehen, die sich aus zwei Komponenten zusammensetzen. Zum einen aus fahrleistungsabhängigen Betriebskostengrundwerten, resultierend aus Fahrzeugabschreibung, Verschleiß, Instandhaltung und Wartung einschließlich erforderlicher Betriebsstoffe (Schmiermittel) und zum anderen aus fahrleistungs- und geschwindigkeitsabhängigen Kraftstoffkosten. Diese Kosten werden aus verkehrlicher Sicht im Wesentlichen durch die Verkehrsstärke, die Verkehrszusammensetzung (Anteil der verschiedenen Fahrzeuggruppen) und die jeweilige durchschnittliche Fahrzeuggeschwindigkeit bei den jeweiligen Verkehrsstärken beeinflusst. Ein volkswirtschaftlicher Nutzen entsteht beispielsweise, wenn eine identische Fahrleistung mit geringeren Kfz-Betriebskosten erzielt werden kann. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeiten einen geringeren Kraftstoffverbrauch nach sich ziehen.

Veränderung der Fahrzeiten

Durch eine Veränderung der Fahrtrouten, der Fahrtweiten oder der Fahrzeuggeschwindigkeiten verändern sich auch die Fahrzeiten. Verändern sich durch eine Variante die Fahrzeiten, können aus den Fahrzeitänderungen volkswirtschaftliche Nutzen ermittelt werden, indem die Fahrzeitänderungen mit Zeitkostensätzen multipli-

ziert werden. Die Zeitkostensätze stellen einen durchschnittlichen ökonomischen Wert einer Stunde dar.

Die Nutzen aus Fahrzeitveränderung werden von den verkehrlichen Größen Fahrweite, Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung und Fahrzeuggeschwindigkeit beeinflusst. Eine Berücksichtigung der Reisezeitverluste durch Staus, welche sich als Folge von Unfällen entwickeln, erfolgt im Bewertungsverfahren nicht. Zurzeit existiert kein erprobtes Verfahren, mit dem solche Reisezeitverluste, insbesondere für den Bereich von Autobahnarbeitsstellen, ermittelt werden können. Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen wurde daher vereinfachend davon ausgegangen, dass die unfallbedingten Reisezeitverluste unabhängig von der jeweils untersuchten Variante sind. Aus dem Vergleich zweier Varianten miteinander resultieren aus diesen Reisezeitverlusten somit keine Wirkungen auf das Gesamtergebnis.

Veränderung des Unfallgeschehens

Die Veränderung der Unfallkosten lässt sich im Rahmen der EWS 1997 [FGSV 1997] ermitteln, indem Personen- und Sachschäden mit Hilfe von ökonomischen Bewertungsansätzen (u. a. volkswirtschaftliche Produktionsausfälle, Wohlfahrtsverluste durch Invalidität, Freizeitausfälle, medizinische Behandlungskosten für stationäre und ambulante Behandlung, Reparaturkosten der Kraftfahrzeuge) in Kosten ausgedrückt werden. Nutzen durch Veränderungen des Unfallgeschehens bzw. der Verkehrssicherheit ergeben sich aus der Differenz der Unfallkosten im Vergleichsfall und im Planungsfall.

Veränderung der Schadstoffbelastung

Bei der Bewertung der Veränderung der Schadstoffbelastung werden zum einen die Wirkungen auf Menschen und Bauten und zum anderen die Wirkungen auf die Vegetation betrachtet. Die Nutzen aus der Veränderung der Schadstoffbelastung für die Vegetation werden direkt aus den emittierten Mengen der Schadstoffe abgeleitet. Die Wirkung aus der Veränderung der Schadstoffbelastung auf Menschen und Bauten beruht auf einer multiplikativen Verknüpfung von über Ausbreitungsfunktionen bestimmten Bezugskonzentrationen der Luftschadstoffe einerseits sowie den betroffenen Personen andererseits. Verkehrliche Einflussgrößen sind Verkehrsstärke sowie Geschwindigkeiten.

Veränderung der Klimabelastung

Infolge einer Maßnahme bewirkte Veränderungen der Klimabelastung werden über Veränderungen der CO₂-Belastung aus den Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs ermittelt und mit einem Vermeidungskostenansatz bewertet. Dieser Vermeidungskostenansatz drückt aus, welche Kosten nötig wären, um eine bestimmte Menge CO₂ nicht zu erzeugen, d. h. zu vermeiden. Verkehrliche Einflussgrößen für die Veränderung der Klimabelastung sind insbesondere Verkehrsstärken sowie die den Kraft-

stoffverbrauch beeinflussenden und wiederum von den Verkehrsstärken abhängigen Geschwindigkeiten.

4.3.2 Berechnung der Kosten und Nutzen

Für jede zu betrachtende Variante wurde unter Variation der Verkehrsstärke, der Arbeitsstellendauer, der Baukosten und weiterer variabler Größen wie z. B. der Mehrkosten infolge Verkehrsführung 3s+1 die Barwerte für die Komponenten

- Investitionskosten,
- Laufende Kosten,
- Betriebskosten,
- Fahrzeiten,
- Unfallgeschehen,
- Schadstoffbelastung und
- Klimabelastung

ermittelt. Auf die in den EWS 1997 [FGSV 1997] vorgesehene Bildung eines Nutzen-Kostenverhältnisses aus einem Vergleich von Planfall zu Vergleichsfall wurde zunächst verzichtet. Das heißt auch, dass die in den EWS [FGSV 1997] vorgesehene Ermittlung von Nutzen, welche aus der Veränderung einzelner Komponenten, wie z. B. der Fahrzeiten, im Vergleich von Planfall zu Vergleichsfall entstehen in diesem Verfahren zunächst nicht durchgeführt wurde. Vielmehr wurden anhand des Mengengerüsts für die einzelnen Komponenten Kosten bestimmt. Hierbei wurde nicht, wie in den EWS [FGSV 1997] vorgesehen, die Veränderung einzelner Komponenten sondern der sich für eine bestimmte Variante ergebende Absolutwert für die Berechnung der Kosten verwendet. Für die Komponente Fahrzeit heißt dies beispielsweise, dass alle im Betrachtungszeitraum anfallenden Fahrzeiten anhand der Verkehrsstärken, der Verkehrszusammensetzung und der Geschwindigkeiten ermittelt und mit dem jeweiligen Zeitkostensatz monetarisiert wurden.

Die o. g. Komponenten wurden eingeteilt in Komponenten, welche bei der Bildung eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses auf der Nutzenseite stehen und welche auf der Kostenseite stehen. Auf der Nutzenseite stehen demnach Betriebskosten, Fahrzeiten, Unfallgeschehen, Schadstoffbelastung und Klimabelastung. Diese Komponenten werden nachfolgend als Nutzenwirksame Komponenten (NK) bezeichnet. Die auf der Kostenseite stehenden Komponenten Investitionskosten und laufende Kosten werden nachfolgend als Kostenwirksame Komponenten (KK) bezeichnet.

4.4 Kostenwirksame Komponenten

4.4.1 Investitionskosten

In Anlehnung an die Arbeit von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) wurden die Investitionskosten für die Baumaßnahmen „Deckenerneuerung“ und „grundhafte Erneuerung“ aus den Investitionskosten eines Neubaus abgeleitet. Dabei wurden die in

Tabelle 4-3 dargestellten Abschreibungszeiträume und Anteile der Teilleistungen an der Gesamtinvestitionssumme für einen Neubau angesetzt.

Um eine möglicherweise längere Lebensdauer der Deckschicht bzw. eine nur teilweise erforderliche Erneuerung der Deckschicht nach 15 Jahre zu berücksichtigen, wurden alternativ dazu die Baukostenaufteilungen für den Oberbau variiert und 4 % über 15 Jahre und 16% über 30 Jahre abgeschrieben.

| Teilleistung q | Abschreibungszeitraum d _q [Jahre] | Anteil [%] |
|--|---|---------------------|
| Nicht abschreibungsfähige Leistungen | ∞ | 15% |
| Kunstabauten | 50 | 45% |
| Erdbau | 100 | 20% |
| Oberbau+Ausstattung, Abschreibung 15 Jahre nachfolgend „Deckenerneuerung“ | 15 | 7% (Variante: 4%) |
| Oberbau+Ausstattung, Abschreibung 30 Jahre Nachfolgend „Grundhafte Erneuerung“ | 30 | 13% (Variante: 16%) |
| Gesamt | | 100% |

Tabelle 4-3: Gewählte Ausgabenverteilung und Abschreibungszeiträume der Bauleistungen

Aus den in der Arbeit von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) vorliegenden Kosten für Breiten von 10,5 m, 11,5 m und 12,0 m wurden die Kostensätze für Breiten von 10,0 m und 11,0 m extrapoliert bzw. interpoliert.

Für diese Untersuchung wurden die in Tabelle 4-4 dargestellten Kostensätze für die unterschiedlichen Breiten als Investitionskosten angesetzt.

| | | 10,0 m | | | 10,5 m | | | 11,0 m | | | 11,5 m | | | 12,0 m | | |
|---------------------|------------------------|---------|--------|------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|
| | | niedrig | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch |
| Investitions-kosten | Anteil an Gesamtkosten | | | | | | | | | | | | | | | |
| Neubaukosten | 100% | 4,37 | 7,07 | 9,77 | 4,48 | 7,26 | 10,04 | 4,59 | 7,45 | 10,32 | 4,70 | 7,64 | 10,59 | 4,88 | 7,94 | 10,99 |
| alle 15 Jahre (DE) | 7% | 0,31 | 0,49 | 0,68 | 0,31 | 0,51 | 0,70 | 0,32 | 0,52 | 0,72 | 0,33 | 0,53 | 0,74 | 0,34 | 0,56 | 0,77 |
| alle 30 Jahre (GE) | 7% + 13% | 0,87 | 1,41 | 1,95 | 0,90 | 1,45 | 2,01 | 0,92 | 1,49 | 2,06 | 0,94 | 1,53 | 2,12 | 0,98 | 1,59 | 2,20 |
| Variante | | | | | | | | | | | | | | | | |
| alle 15 Jahre (DE) | 4% | 0,17 | 0,28 | 0,39 | 0,18 | 0,29 | 0,40 | 0,18 | 0,30 | 0,41 | 0,19 | 0,31 | 0,42 | 0,20 | 0,32 | 0,44 |
| alle 30 Jahre (GE) | 4% + 16% | 0,87 | 1,41 | 1,95 | 0,90 | 1,45 | 2,01 | 0,92 | 1,49 | 2,06 | 0,94 | 1,53 | 2,12 | 0,98 | 1,59 | 2,20 |

Tabelle 4-4: Investitionskosten in Mio. €/km für anfallende Baumaßnahmen alle 15 Jahre (Deckenerneuerung-DE) und alle 30 Jahre (grundhafte Erneuerung-GE)

Änderung der Investitionskosten aufgrund der gewählten Behelfsverkehrsführung und des vorhandenen Straßenquerschnittes

Die erforderlichen Investitionskosten für Deckenerneuerung und Grundhafte Erneuerung können sich, je nach dem welcher Straßenquerschnitt vorhanden ist und welcher der unter Kapitel 2.2.4 beschriebenen Lösungsansätze verfolgt wird, noch erhöhen. Dies betrifft den Fall einer Baustellenverkehrsführung bei der eine Richtungsfahrbahn nicht vollständig gesperrt werden kann (3s+1) und den Fall, dass die befestigte Fläche im Vorfeld der eigentlichen Baumaßnahmen verbreitert wird. Nachfolgend werden die Gründe hierfür beschrieben und die Auswirkungen quantifiziert.

Verkehrsführung 3s+1

Aufgrund der negativen Wirkungen der Verkehrsführung 3s+1 auf den Bauablauf wurden die Investitionskosten bei Durchführung der Baumaßnahmen im Zuge einer 3s+1 Verkehrsführung um 15% bzw. als kritische Abschätzung um 10% erhöht.

Demzufolge wurden bei Durchführung der Baumaßnahmen im Zuge einer 3s+1 Verkehrsführung die Investitionskosten um die in Tabelle 4-5 angegebenen Werte erhöht.

| Erhöhung der Investitionskosten infolge Verkehrsführung 3s+1 | Umfang der Maßnahme in % der Neubaukosten | 10,0 m | | | 10,5 m | | | 11,0 m | | | 11,5 m | | |
|--|---|----------|--------|------|----------|--------|------|----------|--------|------|----------|--------|------|
| | | niedrig | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch |
| | | [Mio. €] | | | [Mio. €] | | | [Mio. €] | | | [Mio. €] | | |
| 15% | 7% (DE) | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,05 | 0,08 | 0,11 |
| 15% | 7%+13% (GE) | 0,13 | 0,21 | 0,29 | 0,13 | 0,22 | 0,30 | 0,14 | 0,22 | 0,31 | 0,14 | 0,23 | 0,32 |
| 10% | 7% (DE) | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,05 | 0,07 |
| 10% | 7%+13% (GE) | 0,09 | 0,14 | 0,20 | 0,09 | 0,15 | 0,20 | 0,09 | 0,15 | 0,21 | 0,09 | 0,15 | 0,21 |
| Variante | | | | | | | | | | | | | |
| 15% | 4% (DE) | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,06 |
| 15% | 4%+16% (GE) | 0,13 | 0,21 | 0,29 | 0,13 | 0,22 | 0,30 | 0,14 | 0,22 | 0,31 | 0,14 | 0,23 | 0,32 |
| 10% | 4% (DE) | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| 10% | 4%+16% (GE) | 0,09 | 0,14 | 0,20 | 0,09 | 0,15 | 0,20 | 0,09 | 0,15 | 0,21 | 0,09 | 0,15 | 0,21 |

Tabelle 4-5: Erhöhung der Investitionskosten in Mio. €/km für Deckenerneuerung (DE) und Grundhafte Erneuerung (GE) infolge einer Verkehrsführung 3s+1 gegenüber einer Verkehrsführung 2+0, 3+0 oder 4s+0

Bestimmte, besonders langlebige Bauweisen (z. B. Zementbetondecke) können aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht unter einer Verkehrsführung 3s+1 eingebaut werden, alternative Bauweisen können auch infolge der auftretenden Längsnähte eine geringere Lebensdauer des Straßenoberbaus aufweisen. Um dies zu berücksichtigen müssten im Berechnungsverfahren die Abschreibungszeiträume für den Straßenoberbau von 15 bzw. 30 Jahren gegebenenfalls verkürzt werden. Um diese Effekte abzuschätzen, wurde vereinfachend eine Untervariante gebildet, bei der die Abschreibungszeiträume der Investitionen für die Verkehrsführung 3s+1 von 15 auf 13 Jahre und von 30 auf 26 Jahre vermindert wurden.

Fahrbahnverbreiterung im Vorfeld der Baumaßnahmen

Der in den RSA [BMVBW 1995] gemachte Vorschlag im Falle einer für eine Verkehrsführung 4s+0 zu geringen befestigten Breite, die Fahrbahn im Vorfeld der Baumaßnahme zu verbreitern, setzt zunächst voraus, dass dies im betreffenden Streckenabschnitt mit vertretbarem technischen Aufwand möglich ist. Eine Verbreiterung der befestigten Fläche muss gegebenenfalls sowohl im Bereich außerhalb von Brückenbauwerken, einschließlich des Bereichs unterhalb von Kreuzungsbauwerken, als auch auf Brückenbauwerken, die selbst Bestandteil der Autobahn sind, erfolgen. Außerhalb der Brückenbauwerke ist eine außenliegende Verbreiterung meist praktikabler durchzuführen als eine Verbreiterung im Bereich des Mittelstreifens, da dort Probleme mit der vorhandenen Mittelstreifenentwässerung und mit Bauwerkstützen im Mittelstreifen auftreten können. Im Bereich von Brückenbauwerken besteht dabei zum Teil die Möglichkeit, die Brückenkappe im Vorfeld teilweise abubrechen und

somit die befahrbare Fläche seitlich zu vergrößern. Eine komplette Verbreiterung der Brücke ist häufig nicht praktikabel.

Bei einem Anbau außerhalb von Bauwerken wird die Fahrbahn in der Regel im ursprünglichen Bankettbereich verbreitert. Dazu werden in diesem Bereich die ungebundenen Schichten und der anstehende Boden ausgebaut und der Straßenoberbau entsprechend den zu erwartenden Belastungen und dem vorhandenen Straßenaufbau der Fahrbahn neu aufgebaut. Um einen guten Anschluss an die bestehende befestigte Fläche zu erreichen, sollte ein Teil des Seitenstreifens, zumindest aber die Fahrbahndecke, mit ausgebaut und zusammen mit dem Verbreiterungsbereich neu aufgebaut werden.

Die Kosten für solche Maßnahmen wurden anhand der Angaben von ARNOLD (2001) abgeschätzt. ARNOLD (2001) ermittelte Kosten, die aufgrund einer befristeten Umnutzung des Standstreifens an BAB (Seitenstreifenfreigabe) für Ertüchtigung und Verbreiterung des vorhandenen Seitenstreifens anfallen. Anhand dieser Angaben wurden Kosten abgeschätzt, die für eine Fahrbahnverbreiterung im Vorfeld einer Baumaßnahme entstehen. Für den Bereich außerhalb von Bauwerken wurde je nach Breite der Verbreiterung mit Kosten von 134 €/m² bis 374 €/m² gerechnet. Bei Brückenbauwerken belaufen sich die Kosten bei einer Verbreiterung von > 0,5 m auf ca. 1790 €/m² und bei einer Verbreiterung ≤ 0,5 m auf ca. 511 €/m². Für einen 1 km langen Streckenabschnitt mit einer durchschnittlichen Brückenlänge von 60 m auf 1 km [BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006)] ergeben sich so bei einer Verbreiterung einer Fahrtrichtung von 11,5 m auf 12,0 m befestigter Breite Kosten von ca. 234.000 €/km.

Diese Kosten wurden anhand einer Baumaßnahme überprüft, die im Jahr 2007 an der BAB A5 durchgeführt wurde. Vom Amt für Straßen- und Verkehrswesen Frankfurt wurde eine Richtungsfahrbahn im Vorfeld einer anstehenden Baumaßnahme auf 300 m Länge um ca. 0,5 bis 1,0 m verbreitert. Bei einem in diesem Bereich befindlichen Brückenbauwerk wurde durch einen Umbau der Brückenkappen eine größere Fahrbahnbreite realisiert. Die Kosten für die Verbreiterung außerhalb des Bauwerkes lagen bei 140 €/m² und für das Bauwerk bei ca. 750 €/m². Aufgrund dieser Kostensätze würden sich bei einer Verbreiterung von 11,5 m auf 12,0 m mit ca. 115.000 €/km deutlich geringere Kosten ergeben.

Um diese offensichtlich große Spannweite der Kosten für eine Fahrbahnverbreiterung zu berücksichtigen, wird im Rahmen des Bewertungsverfahrens zunächst mit den Kostensätzen gerechnet, die aus der Arbeit von ARNOLD (2001) abgeleitet wurden. In einem zweiten Schritt wird dann ermittelt, bei welchen Baukosten für die Verbreiterung sich das Berechnungsergebnis hinsichtlich der Variantenreihung verändern würde.

4.4.2 Laufende Kosten

Um die Spannweite der erhobenen Daten (vgl. Kap. 2.6.6) zu berücksichtigen, wurden für die Berechnung zwei Ansätze verwendet. Der Standardansatz für die Berechnung der laufenden Kosten für den Betrieb der Arbeitsstellen orientiert sich eher

an den Angaben Hessens und des Saarlandes, mit meist geringen Unterschieden zwischen den einzelnen Verkehrsführungen. Der zweite Kostenansatz orientiert sich eher an den Angaben der ABD Nordbayern mit meist größeren Unterschieden zwischen den einzelnen Verkehrsführungen. Diese Variante soll der kritischen Abschätzung der Ergebnisse dienen. Die in Tabelle 4-6 genannten Kostensätze wurden für die Berechnung angesetzt:

| | | 3+0, transp. SE | 3s+1, transp. SE | 4s+0, transp. SE | 4s+0, Markierung |
|------------|---|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Variante 1 | Einrichtung/Abbau [€/km] | 24.000 | 27.500 | 25.000 | 20.000 |
| | Betrieb/Wartung/Kontrolle [€/(km*Tag)] | 170 | 200 | 180 | 100 |
| Variante 2 | Einrichtung/Abbau [€/km] | 30.000 | 45.000 | 30.000 | 20.000 |
| | Betrieb/Wartung/Kontrolle [€/(km*Tag)] | 400 | 500 | 400 | 400 |

Tabelle 4-6: Für die Berechnungen angesetzte laufende Kosten für den Betrieb einer Arbeitsstelle längerer Dauer

4.5 Nutzenwirksame Komponenten

4.5.1 Verkehrliche Einflussgrößen

Wie in Kapitel 2.3.2 gezeigt, werden die Nutzenkomponenten im Wesentlichen durch die Verkehrsstärke, die Fahrzeuggeschwindigkeiten und die Unfallkostenrate bestimmt. Die Verkehrsstärke soll im Berechnungsverfahren variiert werden. Somit bleiben als verkehrliche Einflussgrößen die Fahrzeuggeschwindigkeiten und die Unfallkostenrate. Nachfolgend werden die gewählten Berechnungsansätze für Fahrzeuggeschwindigkeiten und Unfallkostenraten für die auftretenden Verkehrszustände dargestellt.

4.5.2 Berechnungsansätze für Fahrzeuggeschwindigkeiten und Unfallkostenrate im Normalverkehrszustand

Fahrzeuggeschwindigkeiten

Die Ermittlung der Fahrzeiten erfolgte entsprechend des Verfahrens nach EWS 1997 [FGSV 1997]. Als Straßentyp wurde dabei für alle zu untersuchenden Breiten der Typ ST 1.21 (RQ 29,5 / RQ 26 nach RAS-Q 1996 [FGSV 1996]) gewählt. Anhand des DTV und des GV-Anteils werden für Zeitabschnitte mit annähernd gleicher Verkehrsstärke je Fahrtrichtung mittels k-Faktoren stündliche Verkehrsstärken errechnet. Hierzu wurden aus dem DTV zunächst DTV-Werte für Normalwerktage, Urlaubswerktage und Sonn- und Feiertage ermittelt. Für den Güterverkehr wurden dabei die in den EWS 1997 [FGSV 1997] angegebenen Umrechnungsfaktoren angesetzt. Für den Gesamtverkehr wurden die Berechnungen mit folgenden Ansätzen durchgeführt: $DTV_{\text{Werktag}} = DTV * 1,05$, $DTV_{\text{Urlaub}} = DTV * 1,05$ und $DTV_{\text{Sonntag}} = DTV * 0,8$. Diese Ansätze wurden im Rahmen der Bearbeitung des Projektes von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) abgeschätzt. Sie basieren auf einer Auswer-

tung von Dauerzählstellendaten, die durch die Bundesanstalt für Straßenwesen im Rahmen der Bearbeitung des o. g. Projektes durchgeführt und zur Verfügung gestellt wurde.

Um abzuschätzen wie sensitiv die Berechnungsergebnisse auf die getroffenen Annahmen reagieren, wurden in Anlehnung an die im HBS 2001, Kapitel 2 [FGSV 2001 b] angegebenen Werte auch die folgende Zusammenhänge angesetzt und die Berechnungen mit diesen Werten durchgeführt: $DTV_{\text{Werktag}} = DTV * 1,14$, $DTV_{\text{Urlaub}} = DTV * 0,9$ und $DTV_{\text{Sonntag}} = DTV * 0,7$.

Die Ermittlung der Geschwindigkeiten erfolgte dann mit den für den gewählten Straßentyp gegebenen Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass im Normalverkehrszustand keine Geschwindigkeitsbeschränkung angeordnet ist. Im Übrigen wurden die Vorgaben nach EWS 1997 [FGSV 1997] berücksichtigt. Die EWS 1997 [FGSV 1997] sehen vor, dass im Fall einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit diese als maximale Geschwindigkeit in die Berechnungen eingeht. Für die hier zu betrachtenden Fälle wurde angenommen, dass bei Normalverkehrsführung zwar keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit besteht, die maximale in der Berechnung angesetzte Geschwindigkeit allerdings der Richtgeschwindigkeit 130 km/h entspricht.

Die Berücksichtigung der Geschwindigkeiten im Normalverkehrszustand ist dann erforderlich, wenn sich die Dauer der Arbeitsstellen im Planfall und Vergleichsfall unterscheiden, beispielsweise wenn aufgrund einer Verkehrsführung 3s+1 die Bauzeit für den Vergleichsfall länger ist als für den Planfall, bei dem eine Verkehrsführung 4s+0 eingerichtet werden kann.

Unfallkostenrate

Im Rahmen der Untersuchung von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) wurden seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) eine Auswertung der Unfalldatenbank der BASt und eine begleitende Länderbefragung zur Erfassung der Lage von vier- und sechsstreifigen Autobahnquerschnitten im Autobahnnetz durchgeführt [LEMKE 2006]. Hierdurch konnten aktuelle Unfallkostenraten für die Querschnittsmerkmale „10,00 m bis 11,50 m“ und „größer gleich 11,50 m“ Breite der befestigten Fläche auf Basis von Unfällen mit Personen- und Sachschaden der Jahre 2002 – 2004 ermittelt werden. Aus der Untersuchung ergeben sich sowohl für den RQ 26 als auch den RQ 29,5 nahezu identische Unfallkostenraten, so dass abschließend eine mittlere Unfallkostenrate geltend für Unfälle mit Personen- und Sachschaden in Höhe von 15 €/ (1.000 Kfz*km) für die Querschnitte RQ 26 und RQ 29,5 angegeben wird.

Da diese o. g. neueren Untersuchungen empfehlen, im Gegensatz zur RAS-Q 1996 [FGSV 1996] und den Mitteilungen Nr. 40 des ISK [GDV 2002], hinsichtlich der UKR nicht mehr zwischen den Unfallkostenraten des RQ 26 und des RQ 29,5 zu differenzieren, wird für diese Wirtschaftlichkeitsuntersuchung angenommen, dass die UKR für alle untersuchten Querschnitte mit Breiten der befestigten Fläche von 10,0 m bis 12,0 m denselben Wert aufweisen. Als UKR wird der Wert von 15 €/ (1.000 Kfz*km) aus der Untersuchung der BASt übernommen. Dieser liegt um 3 bzw. 4 €/ (1.000

Kfz*km) niedriger als die in den Mitteilungen des ISK [GDV 2002] für den Preisstand 2000 angegebenen Werte.

| Breite der befestigten Fläche | Unfallkostenrate [€/(1000*Kfz*km)] |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| 10,00 m | 15 |
| 10,50 m | 15 |
| 11,50 m | 15 |
| 12,00 m | 15 |

Tabelle 4-7: Unfallkostenraten für die zu untersuchenden befestigten Breiten bei „Normalverkehrsführung“

4.5.3 Einfluss der Varianten auf Fahrzeuggeschwindigkeiten und Unfallkostenraten im Falle von Arbeitsstellen längerer Dauer

Fahrzeuggeschwindigkeiten:

Die Zuordnung der einzelnen Berechnungsansätze zu den Varianten (Fälle nach Tabelle 4-1) folgte unter Berücksichtigung der Anzahl der Fahrstreifen (zwei nebeneinander liegende Fahrstreifen pro Fahrtrichtung oder ein einzelner Fahrstreifen), der auf dem Fahrstreifen zugelassenen Fahrzeuge (Pkw und GV oder nur Pkw), dem eingesetzten Trennungssystem (transportable Schutzeinrichtung oder Markierung) und der Breite der Behelfsfahrstreifen. Hierbei wurde unterschieden in a) die Breite der Behelfsfahrstreifen entspricht in etwa den Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA-95 [BMVBW 1995], b) die Breite der Behelfsfahrstreifen unterschreitet die Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA-95 [BMVBW 1995] und c) die Breite der Behelfsfahrstreifen liegt deutlich über den Mindestfahrstreifenbreiten, d.h. rechter Fahrstreifen $\geq 3,50$ m und linker Fahrstreifen $\geq 2,75$ m. Bei Variante 4.5 sind entsprechend Tabelle 4-8 insgesamt 3 Fälle (1 Standardberechnungsfall, 2 Varianten) zu betrachten, die sich aus den unterschiedlichen Regressionsansätzen bzw. unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten ergeben.

Im Bereich der Arbeitsstellen längerer Dauer wird von einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen. Erfolgt die Trennung der Fahrtrichtungen nur mittels Nagelreihen, ohne Trennstreifen und Sichtzeichen, ist aus Gründen der Verkehrssicherheit die Beschränkung von v_{zul} auf 60 km/h unerlässlich. Lagen die aus den q-v-Beziehungen ermittelten Fahrzeuggeschwindigkeiten über den jeweils zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, ging daher die zulässige Höchstgeschwindigkeit als Fahrzeuggeschwindigkeit in das Berechnungsverfahren ein.

Ferner wird vereinfachend davon ausgegangen, dass im Bereich der betrachteten Behelfsverkehrsführungen für Fahrzeuge der Fahrzeuggruppe Güterverkehr (GV), vgl. EWS-97 [FGSV 1997], die Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen für Fahrzeuge des Schwerverkehrs angesetzt werden können. Diese Vereinfachung scheint insbesondere vor dem Hintergrund der Beschränkung des linken Fahrstreifens für Fahrzeuge mit einer Breite von maximal 2 m vertretbar.

| Varianten | Fahrstreifen | Fahrzeugart | Vzul [km/h] | Kapazität [Kfz/h] | Fall nach Anlage 11 |
|-----------|----------------|-------------|----------------|----------------------|------------------------|
| V 1.1 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| | Einzelner FS | Pkw + GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 1.2 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| | Einzelner FS | Pkw | 80 | 1.650 | 5 |
| | Einzelner FS | GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 1.3 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| V 2.1 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.400 | 4 |
| | Einzelner FS | Pkw + GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 2.2 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.400 | 4 |
| | Einzelner FS | Pkw | 80 | 1.650 | 5 |
| | Einzelner FS | GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 2.3 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| V 3.1 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.400 | 4 |
| | Einzelner FS | Pkw + GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 3.2 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.400 | 4 |
| | Einzelner FS | Pkw | 80 | 1.650 | 5 |
| | Einzelner FS | GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 3.3 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| V 4.1 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| | Einzelner FS | Pkw + GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 4.2 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| | Einzelner FS | Pkw | 80 | 1.650 | 5 |
| | Einzelner FS | GV | 80 | 1.650 | 6 |
| V 4.3 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |
| V 4.4 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 60 | 3.200 | 3 |
| V 4.5 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 bzw. 60 | 3.200 bzw. 3.000 | 1 |
| V 5.1 | 2 Fahrstreifen | Pkw + GV | 80 | 3.200 | 2 |

Tabelle 4-8: Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeiten, Zuordnung der Fälle nach Anhang 11 zu den untersuchten Fällen

Für Verkehrsstärken, bei denen die Kapazität der Straße erreicht bzw. überschritten wird, wird in den EWS-97 [FGSV 1997] eine Fahrzeuggeschwindigkeit von 20 km/h angesetzt. Durch diesen Ansatz werden die auftretenden Effekte der Staubildung und Stauauflösung jedoch nur grob abgeschätzt. Für den Bereich von Arbeitsstellen steht mit der im Rahmen des FE 01.153/2000/CRB [OBER-SUNDERMEIER/OTTO (2003)] bzw. der Arbeit von [BECKMANN (2000)] entwickelten Software QuantAS ein Verfahren zur Verfügung, mit dem sich Reisezeitverluste durch Staubildung im Bereich von Arbeitsstellen wesentlich genauer abbilden lassen. Die Software Quant AS ermittelt zum einen auf Basis von Jahres-, Wochen- und Tagesganglinien für 5-Minuten-Intervalle fahrtrichtungsbezogene Verkehrsstärken und zum anderen auf Basis der Kapazitätsermittlung nach RBAP 1996 [BMVBW 1996a] die Kapazität der Behelfsverkehrsführung. Durch einen Vergleich der jeweiligen Verkehrsstärke mit der Kapazität der Behelfsverkehrsführung lassen sich so die Zeiträume der Staubildung feststellen. Die Modellierung der verkehrlichen Auswirkungen, wie z. B. der Reisezeitverluste, erfolgt mit Hilfe des Fundamentaldiagramms.

Im Zuge der Bearbeitung des Forschungsprojektes FE 18.0016/2005 des BMVBS [BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006)] wurden mittels dieser Software Reisezeitverluste durch Staubildung im Zuge von Arbeitsstellen längerer Dauer ermittelt. Diese Berechnungsergebnisse für die Verkehrsführungen 3s+0, 3s+1 und 4s+0 sollen auch im Zuge dieser Arbeit eingesetzt werden, auf den dort verwendeten Berechnungsansatz wird nachfolgend eingegangen.

Von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) wurde ein zweiteiliger Ansatz zur Fahrzeitermittlung in Arbeitsstellen umgesetzt:

- Ermittlung der Reisezeiten mittels Verfahren nach EWS 1997 [FGSV 1997] unter Verwendung der q-v-Beziehungen für Arbeitsstellen bei einer Verkehrsstärke unterhalb der Kapazität. Die Abbildungsgenauigkeit des Zustandes des Verkehrsablaufes unterhalb der Kapazität durch QuantAS wurde als nicht ausreichend genau angesehen, da die für verschiedene Behelfsverkehrsführungen ermittelten Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen in der vorliegenden Software-Version nicht berücksichtigt werden konnten.
- Ermittlung der Reisezeitverluste durch Stau anhand des Programmes QuantAS. Bei der Ermittlung der Reisezeitverluste mit dem Programm QuantAS muss neben dem DTV angegeben werden, welche Jahres-, Wochen- und Tagesganglinien zur Berechnung der Reisezeitverluste zugrunde gelegt werden. Hierzu wurden anhand der Daten der Dauererzählstellen an BAB aus dem Jahr 2000 12 für den Verkehrsstärkebereich von 20.000 – 70.000 Kfz/24h charakteristischen Ganglinienkombinationen ausgewählt (siehe Anlage 12) und mit diesen die Berechnung für verschiedene DTV (Bereich 20.000 bis 70.000 Kfz/24h) und verschiedene Verkehrsführungen durchgeführt. Die Berechnung wurde dabei für den Zeitraum eines Jahres, also vom 01.01. bis 31.12. durchgeführt. Aus den für die verschiedenen Ganglinienkombinationen ermittelten jährlichen Reisezeitverlusten wurde ein Mittelwert gebildet. Hierbei wurde nach den untersuchten Verkehrsführungen und dem jeweils angesetzten DTV unterschieden. Die mittleren Zeitverluste infolge Stau wurden auf mittlere tägliche Zeitverluste umgerechnet und in das Bewertungsverfahren eingebracht (siehe Tabelle 4-9).

Die in QuantAS angesetzten Kapazitäten der Verkehrsführungen ergeben sich aus den Grundkapazitäten und Abminderungsfaktoren der RBAP 1996 [BMVBW 1996 a]. Ergänzend zu den von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) ermittelten Daten wurde im Rahmen dieser Untersuchung noch Daten für den Fall einer Verkehrsführung 4s+0 mit Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten benötigt. Hier war als eine Variante die Kapazität auf 3.000 Kfz/h vermindert worden. Die Berechnungen für diesen Fall wurden analog zum oben beschriebenen Verfahren mit um 6,25% verminderten Fahrstreifenkapazitäten durchgeführt.

Für den Fall einer Arbeitsstelle 2n+2, wie sie zur Querschnittsverbreiterung im Vorfeld der eigentlichen Baumaßnahmen erforderlich ist, wurde der Einfluss dieser Arbeitsstelle auf den Verkehrsablauf im Berechnungsverfahren so abgeschätzt, dass für die Berechnung der Fahrzeuggeschwindigkeiten der betroffenen Fahrtrichtung der Ansatz für Fall 4 nach Anlage 11 verwendet wurde. Hierbei handelt es sich um 2 Behelfsfahrstreifen mit einer Breite von $\geq 3,50$ m für den rechten und $\geq 2,75$ m für

den linken Fahrstreifen. Für die nicht von der Arbeitsstelle betroffene Fahrtrichtung gilt für den Zeitraum der 2n+2 Behelfsverkehrsführung der Normalverkehrszustand mit den entsprechenden Berechnungsansätzen.

| Verkehrsführung | DTV [Kfz/24h] | tägliche Reisezeitverluste infolge Arbeitsstelle längerer Dauer [h/d] | | |
|--|-------------------|---|---------------|---------------|
| | | Pkw, werktags | Pkw, sonntags | Lkw, werktags |
| 3s+0 | 20.000 | 0 | 0 | 0 |
| | 30.000 | 8 | 0 | 2 |
| | 40.000 | 300 | 9 | 87 |
| | 50.000 | 1278 | 77 | 463 |
| | 60.000 | 2398 | 214 | 1042 |
| | 70.000 | 3438 | 385 | 1804 |
| 3s+1 | 20.000 bis 50.000 | 0 | 0 | 0 |
| | 60.000 | 2 | 0 | 0 |
| | 70.000 | 66 | 0 | 14 |
| | | | | |
| 4s+0 | 20.000 bis 50.000 | 0 | 0 | 0 |
| | 60.000 | 16 | 0 | 3 |
| | 70.000 | 151 | 1 | 35 |
| 4s+0, Abminderung der Kapazität auf 3.000 Kfz/h infolge Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten | 20.000 bis 50.000 | 0 | 0 | 0 |
| | 60.000 | 49 | 0 | 10 |
| | 70.000 | 277 | 4 | 69 |
| | | | | |

Tabelle 4-9: Tägliche Reisezeitverluste infolge Staubildung auf Grund der Behelfsverkehrsführung im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer

Unfallkostenrate:

Die Berechnung erfolgt mit den Unfallkostenraten, die auf Basis angepasster Unfallkosten ermittelt wurden, da hierdurch die Einflüsse der unterschiedlichen Varianten auf das Unfallgeschehen genauer berücksichtigt werden können. Die den einzelnen Varianten zugeordneten Unfallkostenraten entsprechen den in Tabelle 3-15 dargestellten Unfallkostenraten. Da für die Verkehrsführungen 3s+1 und 4s+0 Unfallkostenraten auf Grundlage unterschiedlicher Datenbasen vorlagen, wurden beide Unfallkostenraten als Untervarianten in die Berechnung eingebracht (Fußnoten a und b der Tabelle 4-10). Da ein Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die Unfallkostenrate nicht nachgewiesen werden konnte (siehe Kapitel 5.5), gleichwohl eine Tendenz dahingehend zu erkennen war, dass die Unfallkostenraten mit geringeren Fahrstreifenbreiten abnehmen und mit größeren Fahrstreifenbreiten zunehmen, wurde diese Tendenz durch eine Abschätzung berücksichtigt. Hierzu wurde im Falle einer deutlichen Überschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten die UKR um 10 % erhöht (Fußnote c in Tabelle 4-10) und bei einer Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten, wie in Variante 4.5 die UKR um 10 % abgemindert (Fußnote d in Tabelle 4-10) und als Untervarianten in der Berechnung berücksichtigt.

In den genannten UKR für die Verkehrsführungen 3s+0 sind Unfälle im Bereich der Fahrstreifenreduktion nicht berücksichtigt. Daher werden die durch die Fahrstreifen-

reduktion resultierenden Unfallkosten durch Ansatz einer zusätzlichen UKR berücksichtigt (Fußnote e der Tabelle 4-10). Dieser Zuschlag erfolgt für jede Arbeitsstelle der Verkehrsführung 3s+0. Die Höhe des erforderlichen Zuschlages wurde durch BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) zu 0,5 €/ (1000*Kfz*km) abgeschätzt, so dass bei einer Arbeitsstellenlänge von 5 km und einer Länge des Reduktionsbereiches von 300m für den Bereich der Fahrstreifenreduktion zusätzliche Unfallkosten von 8,3 €/ (1000*Kfz*km) angesetzt werden. Dies korrespondiert gut mit den Unfallkostenraten, die von ENGELMANN (2003) für Fahrstreifenreduktionen von 3 auf 2 Fahrstreifen auf Autobahnen ermittelt wurden.

| Varianten | Verkehrsführung | Trennungssystem | Besonderheiten | UKRa |
|-----------|-----------------|-----------------------|----------------|------|
| V 1.1 | 3s+0 | Transp. Schutzzeindr. | e) 1) | 32,7 |
| V 1.2 | 3s+1 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 23,6 |
| | | | b) 2) | 22,1 |
| V 1.3 | 4s+0 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 22,1 |
| | | | b) 2) | 23,3 |
| V 2.1 | 3s+0 | Transp. Schutzzeindr. | e) 1) | 32,7 |
| | | | c) + e) 2) | 36,0 |
| V 2.2 | 3s+1 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 23,6 |
| | | | b) 2) | 22,1 |
| | | | a) + c) 2) | 26,0 |
| | | | b) + c) 2) | 24,3 |
| V 2.3 | 4s+0 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 22,1 |
| | | | b) 2) | 23,3 |
| V 3.1 | 3s+0 | Transp. Schutzzeindr. | e) 1) | 32,7 |
| | | | c) + e) 2) | 36,0 |
| V 3.2 | 3s+1 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 23,6 |
| | | | b) 2) | 22,1 |
| | | | a) + c) 2) | 26,0 |
| | | | b) + c) 2) | 24,3 |
| V 3.3 | 4s+0 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 22,1 |
| | | | b) 2) | 23,3 |
| V 4.1 | 3s+0 | Transp. Schutzzeindr. | e) 1) | 32,7 |
| V 4.2 | 3s+1 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 23,6 |
| | | | b) 2) | 22,1 |
| V 4.3 | 4s+0 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 22,1 |
| | | | b) 2) | 23,3 |
| V 4.4 | 4s+0 | Markierung | 1) | 38,9 |
| V 4.5 | 4s+0 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 22,1 |
| | | | b) 2) | 23,3 |
| | | | a) + d) 2) | 19,9 |
| | | | b) + d) 2) | 21,0 |
| V 5.1 | 4s+0 | Transp. Schutzzeindr. | a) 1) | 22,1 |
| | | | b) 2) | 23,3 |

- a) Hochrechnung aus den Daten von Brannolte/Fischer (2006)
- b) Daten aus Vergleichsgruppe
- c) Erhöhung der UKRa nach a) bzw. b) um 10 % um mögliche negative Wirkungen großer Fahrstreifenbreiten abzuschätzen
- d) Minderung der UKRa nach a) bzw. b) um 10 % um mögliche positive Wirkungen geringerer Fahrstreifenbreiten abzuschätzen
- e) Für die erforderliche Fahrstreifenreduktion ist in der betroffenen Fahrtrichtung ein Zuschlag zur Unfallkostenrate in Höhe von 0,5 [€/ (1000*Kfz*km)] zu berücksichtigen.
- 1) Standardberechnungsfall
- 2) Variante

Tabelle 4-10: Unfallkostenraten der betrachteten Varianten

Für Arbeitsstellen der Form 2n+2 lagen weder auswertbare Unfalldaten noch verwertbare Berechnungen für Unfallkostenraten vor, so dass die Unfallkostenrate für

diese Verkehrsführung abgeschätzt werden musste. In Behelfsverkehrsführungen der Art 4s+0 mit Trennung der Fahrtrichtungen durch transportable Schutzeinrichtungen handelt es sich bei den Unfällen entweder um Alleinunfälle oder hauptsächlich um Unfälle bei denen ausschließlich Fahrzeuge beteiligt sind, die in der gleichen Fahrtrichtung fahren. Ein tendenziell vergleichbares Unfallbild wird für die von der Baustelle betroffene Fahrtrichtung auch für die Verkehrsführung 2n+2 erwartet.

Für die Berechnung der Unfallkostenrate für die Verkehrsführung 2n+2 wurden folgende Annahmen getroffen:

- a) Für den Bereich ohne Arbeitsstelle gelten die Bedingungen wie für den Normalverkehrszustand, d.h. die UKR wird mit 15 €/ (1000*Kfz*km) angesetzt.
- b) Für den Bereich der Baustellenzugewandten Fahrtrichtung wird angenommen, dass sich Unfallkostenraten einstellen, die mit der Verkehrsführung 4s+0 vergleichbar sind. Daher wurden für diese Verkehrsführung die Unfallkostenraten der Behelfsverkehrsführung 4s+0 angenommen, nach Tabelle 4-11 die beiden Fälle a) mit 22,1€/ (1000*Kfz*km) und b) mit 23,3 €/ (1000*Kfz*km).
- c) Beide Fahrtrichtungen weisen gleiche Verkehrsstärken auf.

Entsprechend diesen Annahmen ergibt sich die Unfallkostenrate für einen Gesamtquerschnitt (beide Fahrtrichtungen) mit Behelfsverkehrsführung 2n+2 als Mittelwert der beiden einzelnen Unfallkostenraten aus a) und b).

Hieraus ergeben sich als Abschätzung für eine Verkehrsführung 2n+2 Unfallkostenraten von 18,6 bzw. 19,2. Aufgrund der geringen Unterschiede der beiden Werte wurde im Berechnungsverfahren von einer Unfallkostenrate in Höhe von 18,9 ausgegangen. Um die durch die Abschätzung vorhandenen Unsicherheiten im Bewertungsverfahren einschätzen zu können, wurden zwei Untervarianten mit einer um 10 % höheren bzw. niedrigeren Unfallkostenrate ebenfalls in die Berechnung eingebunden (siehe Tabelle 4-11).

| Varianten | Verkehrsführung | Trennungssystem | Besonderheiten | UKRa |
|----------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|------|
| V 1.3 / V 2.3 / V 3.3 / V 4.3 | 2n+2 | Transp. Schutzeinr. | Mittelwert | 18,9 |
| | | | Untervariante 1 | 20,8 |
| | | | Untervariante 2 | 17,0 |

Tabelle 4-11: Unfallkostenraten für Arbeitsstellen der Form 2n+2

4.5.4 Monetarisierung der Komponenten

Die Monetarisierung der Nutzenkomponenten erfolgte auf Basis der in den EWS 1997 [FGSV 1997] angegebenen Kostensätze. Diese sind in DM angegeben und entsprechen einem Preisstand vom 01.01.1995. Die Angaben der EWS wurden daher zunächst mit dem offiziellen Umrechnungskurs 1€ = 1,95583 DM in die Währung € umgerechnet. Weiter erfolgte eine Anpassung an den Preisstand 2000 um eine einheitliche Preisbasis, insbesondere im Hinblick auf die Unfallkostenraten mit Preisstand 2000, zu erhalten. Die Anpassung des Preisstandes 1995 an Preisstand 2000 erfolgte dabei durch Berücksichtigung einer jährlichen 3%-igen Erhöhung der jeweiligen Kostensätze.

Folgende Kostensätze des Preisstandes 2000 wurden angesetzt:

| Kraftstoffart | EWS-97, Preisstand 1995 | | Preisstand 2000 | |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | Kraftstoffkostensatz [DM/l] | Kraftstoffkostensatz [DM/kg] | Kraftstoffkostensatz [€/l] | Kraftstoffkostensatz [€/kg] |
| Benzin | 0,687 | 0,926 | 0,407 | 0,549 |
| Diesel | 0,672 | 0,808 | 0,398 | 0,479 |

Tabelle 4-12: Kraftstoffkosten (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997])

| Fahrzeuggruppe | EWS-97, Preisstand 1995 [DM/100km*Kfz] | Preisstand 2000 [€/100km*Kfz] |
|-------------------|---|----------------------------------|
| P (Pkw) | 17,40 | 10,31 |
| LN (leichter Lkw) | 22,40 | 13,28 |
| LS (schwerer Lkw) | 31,50 | 18,67 |
| Z (Lastzug) | 46,30 | 27,44 |
| B (Bus) | 87,20 | 51,69 |

Tabelle 4-13: Betriebskostengrundwerte (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997])

| Fahrzeuggruppe | Zeitkostenansätze EWS-97, Preisstand 1995 [DM/Kfz*h] | | Zeitkostenansätze Preisstand 2000 [€/Kfz*h] | |
|----------------|---|----------|--|----------|
| | normalwerktags urlaubswerktags | sonntags | normalwerktags urlaubswerktags | sonntags |
| P (Pkw) | 11,00 | 5,50 | 6,52 | 3,26 |
| L (Lkw) | 42,00 | 42,00 | 24,89 | 24,89 |
| Z (Lastzug) | 60,00 | 60,00 | 35,56 | 35,56 |
| B (Bus) | 125,00 | 125,00 | 74,09 | 74,09 |

Tabelle 4-14: Zeitkosten (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997])

| | EWS-97, Preisstand 1995 [DM/tNOx-Äq.] | Preisstand 2000 [€/tNOx-Äq.] |
|-----------------------------------|--|---------------------------------|
| Kostensatz Schadstoffbelastung | 1.700 | 1.007,64 |

Tabelle 4-15: Kostensatz zur Bewertung der Schadstoffbelastung der Vegetation (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997])

| | EWS-97, Preisstand 1995 [DM/t CO ₂] | Preisstand 2000 [€/t CO ₂] |
|------------------------------|--|---|
| Kostensatz Klimabelastung | 180 | 106,69 |

Tabelle 4-16: Kostensatz zur Bewertung der Klimabelastung (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997])

4.6 Variation von Eingangsgrößen und Berechnungsansätzen

Bestimmte Randbedingungen, wie z. B. die Baustellendauer, sowie Einflüsse auf die Kostenkomponenten, z. B. UKR bei geringeren Fahrstreifenbreiten oder q-v-Beziehung bei geringeren Breiten, konnten teilweise nicht eindeutig quantifiziert wer-

den. In solchen Fällen wurden daher für die einzelnen Untersuchungsfälle plausible Werte aus den vorangegangenen Untersuchungen des Unfallgeschehens, des Verkehrsablaufes etc. abgeleitet und als Standardberechnungsfälle behandelt. Darüber hinaus wurden häufig für diese Annahmen auch kritische Abschätzungen oder zusätzliche Berechnungsansätze als Varianten entwickelt. Die Berechnungen wurden daher zum einen für die Standardberechnungsfälle aber auch für die einzelnen Untervarianten durchgeführt.

Somit werden zum einen die Berechnungen des Bewertungsverfahrens unter einer großen Zahl von Variationen durchgeführt und die Berechnungsergebnisse somit hinsichtlich ihrer Sensitivität bewertbar. Nachfolgend werden die im Rahmen der Berechnung durchgeführten Variationen zusammenfassend dargestellt.

Variation der Investitionskosten

Die Variation erfolgt hierbei in zweifacher Weise. Zum einen werden die Kosten der Teilleistungen des Straßenoberbaus, die über 15 bzw. 30 Jahre abgeschrieben werden, hinsichtlich ihres Anteils an den Gesamtinvestitionskosten die für einen Neubau einer vergleichbaren Straße nötig wären variiert. Hierbei werden die über 30 Jahre abzuschreibenden Teilleistungen mit 13 % (Standard) bzw. 16 % (Variante) und die über 15 Jahre abzuschreibenden Teilleistungen mit 7 % (Standard) bzw. 4 % (Variante) angesetzt. Zum anderen werden die Gesamtinvestitionskosten für einen vergleichbaren Neubau variiert. Hierbei werden für jeden Straßenquerschnitt drei verschiedene Baukostensätze – hoch, mittel, niedrig - verwendet (siehe Kapitel 4.4.1).

Variation der laufenden Kosten

Die aus einer Befragung der Straßenbauverwaltung vorliegenden Angaben zu den laufenden Kosten für Einrichtung und Vorhaltung einer Behelfsverkehrsführung wiesen zum Teil eine große Spannweite auf. Um die offensichtlich vorhandenen Differenzen in den Berechnungen zu berücksichtigen, wurden zwei Kostenansätze entwickelt und als Standardberechnungsfall und Variante in die Berechnungen eingebracht (siehe Kapitel 4.4.2).

Bauzeitverlängerung infolge Verkehrsführung 3s+1

Im Vergleich zur Durchführung der erforderlichen Bauarbeiten unter vollständiger Sperrung einer Richtungsfahrbahn muss bei Durchführung der Arbeiten unter teilweiser Sperrung mit längeren Bauzeiten gerechnet werden. Die Befragungsergebnisse lassen eine Verlängerung der Bauzeit bei Verkehrsführung 3s+1 um ca. 30 % erwarten. Daher wird die Bauzeit im Falle einer Verkehrsführung 3s+1 um 30 % verlängert (Standard). Als Variante wird zur Abschätzung der Auswirkungen die Berechnung auch mit einer Bauzeitverlängerung um 20 % durchgeführt.

Verkürzung der Abschreibungszeiträume infolge 3s+1

Die dem Straßenoberbau zugeordneten Teilleistungen werden zum Teil über 30 und zum Teil über 15 Jahre abgeschrieben (Standard). Mit diesen Abschreibungszeiträumen werden die Berechnungen im Rahmen dieser Untersuchung im Regelfall durchgeführt. Um einen möglicherweise negativen Einfluss der in Längsrichtung vorhandenen Anschlussnähte auf die Dauerhaftigkeit des Straßenoberbaus zu berücksichtigen, wurden als Variante die Abschreibungszeiträume der Teilleistungen des Oberbaus von 30 auf 26 und von 15 auf 13 Jahre vermindert.

Höhere Baukosten infolge Verkehrsführung 3s+1

Im Falle von Arbeitsstellen mit Verkehrsführung 3s+1 werden im Rahmen der Baumaßnahmen Kosten fällig, die höher sind als bei Durchführung derselben Baumaßnahme mit einer Verkehrsführung 4s+0. Dies resultiert u. a. aus dem eingeschränkten Baufeld und aus den zusätzlich erforderlichen Anschlussarbeiten. Diese höheren Investitionskosten infolge der Verkehrsführung 3s+1 wurden im Jahr 0 (grundhafte Erneuerung) bzw. Jahr 15 (Deckenerneuerung) angesetzt. Die Höhe der Mehrkosten wurde zunächst mit 15 % der jeweils anfallenden Baukosten angesetzt (Standard). Zur Überprüfung der Ergebnisse wurden die Berechnungen auch mit einem Mehrkostenansatz von 10 % durchgeführt (Variante).

Variation der Umrechnungsfaktoren für DTV_W , DTV_U und DTV_S

Im Verfahren nach EWS 1997 [FGSV 1997] sind keine Umrechnungsansätze vom DTV auf die durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastungen werktags (DTV_W), urlaubswerktags (DTV_U) und sonn- und feiertags (DTV_S) angegeben. Zur erforderlichen Umrechnung wurden daher zwei unterschiedliche Ansätze gewählt, der eine orientiert sich an Angaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (Standard), der andere Ansatz orientiert sich an Angaben des HBS 2001 [FGSV 2001 b] für innerörtliche Straßen (Variante) und dient der Überprüfung der Sensitivität der Berechnungsergebnisse auf die Wahl der Umrechnungsfaktoren (siehe Kapitel 4.5.2).

Variation der Berechnungsansätze für die Fahrzeuggeschwindigkeiten bei Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten

Die Berechnung der Pkw-Geschwindigkeiten erfolgt aus der Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehung (q-v-Diagramm), die für verschiedene Verkehrsführungen ermittelt wurden. Für den Fall einer Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA 95 [BMVBW 1995] wurden bei der Ermittlung der q-v-Beziehung mittels Regression drei unterschiedliche Ansätze z. B. mit unterschiedlichen Kapazitäten und Geschwindigkeitsniveaus verfolgt. Hieraus resultierten drei unterschiedliche Funktionsgleichungen. Die Berechnungen wurden für den Fall der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten mit allen drei Funktionsgleichungen als ein Standard-

berechnungsfall und zwei Varianten durchgeführt. Beim Standardberechnungsfall wird von einer Kapazitätsminderung infolge der geringen Fahrstreifenbreiten auf 3.000 Kfz/h ausgegangen. Bei einer der gewählten Variationen wird ferner aufgrund der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreite die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h (Standardberechnungsfall = 80 km/h) reduziert.

Variation der Unfallkostenraten

Die Unfallkostenraten konnten nicht für alle zu betrachtenden Fälle direkt aus empirischen Daten hergeleitet werden und mussten zum Teil hochgerechnet oder abgeschätzt werden. Um die hierbei möglicherweise auftretenden Fehler zur berücksichtigen, wurden zum einen neben hochgerechneten Unfallkostenraten auch Unfallkostenraten aus Vergleichsgruppen zur Überprüfung der Berechnungsergebnisse verwendet. Zum anderen wurden im Falle sehr großer Fahrstreifenbreiten bzw. bei Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten die möglichen Wirkungen größerer bzw. geringerer Fahrstreifenbreiten durch eine Erhöhung bzw. Minderung der Unfallkostenraten um jeweils 10 % abgeschätzt.

5. Durchführung der Bewertung

5.1 Aufbereitung der Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse wurden in mehreren Schritten aufbereitet und dargestellt. Diese Schritte werden nachfolgend kurz dargestellt.

1. Schritt: Für jede der untersuchten Varianten wurden die Barwerte aller Kosten- und Nutzenkomponenten für die unterschiedlichen Verkehrsstärken mit den genannten Standardberechnungsansätzen berechnet. Dabei wurden die beschriebenen Variationen einzelner Berechnungsansätze zunächst nicht berücksichtigt. Die Barwerte der Kosten- und Nutzenkomponenten wurden dann in zwei Gruppen zusammengefasst. Diese Gruppen, als kostenwirksame Komponenten (KK) und nutzenwirksame Komponenten (NK) bezeichnet, wurden wie folgt definiert:

- Kostenwirksame Komponenten sind Kostenkomponenten, die bei der Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnis nach EWS 1997 [FGSV 1997] die Größe des Nenners bestimmen. Hierbei handelt es sich um Investitionskosten und laufende Kosten.
- Nutzenwirksame Komponenten sind Kostenkomponenten, die bei der Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnis nach EWS 1997 [FGSV 1997] die Größe des Zählers bestimmen. Hierbei handelt es sich um Zeitkosten, Unfallkosten, Betriebskosten, Kosten aus Schadstoffbelastung und Kosten aus Klimabelastung.

Sowohl die kostenwirksamen Komponenten als auch nutzenwirksame Komponenten wurden in ihrer Größe für alle untersuchten Varianten und Verkehrsstärken berechnet. Ebenso wurden für jede Variante die Gesamtkosten als Summe aus kostenwirksamen Komponenten und nutzenwirksamen Komponenten berechnet. Diese Summe wird nachfolgend als volkswirtschaftliche Gesamtkosten bezeichnet, sie entspricht dem während des betrachteten Zeitraums anfallenden Ressourcenverbrauch.

2. Schritt: In einem weiteren Schritt wurden alle Änderungen der Barwerte der kostenwirksamen und nutzenwirksamen Komponenten ermittelt, die aus den jeweils durchzuführenden Variationen einzelner Variablen resultieren. Auf Basis der im ersten Schritt berechneten Barwerte und der im 2. Schritt ermittelten Änderungen aufgrund der Variationen wurden nunmehr die möglichen Ober- und Untergrenzen der Barwerte für die einzelnen Komponenten ermittelt. Dies erfolgte so, dass zu den im ersten Schritt ermittelten Barwerten die möglichen Abweichungen nach oben addiert und die möglichen Abweichungen nach unten subtrahiert wurden.

3. Schritt: Für jede untersuchte Fahrbahnbreite wurden nun die einzelnen Varianten gegenübergestellt. Es wurde für jede der betrachteten Verkehrsstärken ermittelt, welche Variante die niedrigsten Gesamtkosten (Summe aus kostenwirksamen und nutzenwirksamen Komponenten) und welche Variante die zweitniedrigsten Gesamtkosten aufweist. Für die sich jeweils ergebenden beiden Varianten (beste und zweitbeste

te Variante) wurde dann ein Nutzen-Kosten-Verhältnis gebildet. Dabei wurde generell die Variante mit den geringeren kostenwirksamen Komponenten als Vergleichsfall und die Variante mit den höheren kostenwirksamen Komponenten als Planfall verwendet. Der Zähler des NKV ergab sich dabei so, dass von den NK des Vergleichsfalles die NK des Planfalles abgezogen wurden. Der Nenner ergab sich aus der Differenz zwischen KK des Planfalls und KK des Vergleichsfalles, siehe Beispiel.

Beispiel:

Variante A: $KK^A = 1$
 $NK^A = 3$

Variante B: $KK^B = 2$
 $NK^B = 1$

da $KK^A < KK^B$,

folgt: A ist Vergleichsfall, B ist Planfall.

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis ergibt sich zu:

$$NKV = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten}} = \frac{NK^{\text{Vergleichsfall}} - NK^{\text{Planfall}}}{KK^{\text{Planfall}} - KK^{\text{Vergleichsfall}}} = \frac{3 - 1}{2 - 1} = 2$$

Diese Berechnungen wurden sowohl mit den Normalwerten als auch mit den Ober- und Untergrenzen durchgeführt.

Nachfolgend werden die Berechnungsergebnisse zusammenfassend dargestellt. Vereinfachend wird dabei auf die grafische Darstellung aller Berechnungsergebnisse verzichtet, diese ist dem Anhang, Anlage 13 zu entnehmen.

Die Ergebnisse die aus den Berechnungen abgeleitet werden treffen häufig auf eine Mehrzahl von Varianten zu. In der textlichen Beschreibung der Berechnungsergebnisse werden gegebenenfalls die Varianten

- V1.1, V2.1, V3.1 und V4.1 zu VX.1,
- V1.2, V2.2, V3.2 und V4.2 zu VX.2 und
- V1.3, V2.3, V3.3 und V4.3 zu VX.3 zusammengefasst.

5.2 Berechnungsergebnisse

5.2.1 Berechnungsansatz mittlere Baukosten

Breite der befestigten Fläche 10,0 m, 10,5 m oder 11,0 m

Betrachtet man die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten (Anlage 13, Bild A13-1 bis A13-4), die während des Betrachtungszeitraums für die drei Varianten anfallen, ist festzustellen, dass bei Verkehrsstärken von 20.000 bzw. 30.000 Kfz/24h in der Regel VX.1 und VX.2 die beiden Varianten mit den geringsten Gesamtkosten sind. Bei Arbeitsstellendauern von 150 Tagen und einer Verkehrsstärke von 30.000 Kfz/24h sowie bei einer Breite von 11,0 m tritt anstelle von VX.2 Variante VX.3. Bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h ist immer VX.1 die Variante mit den geringsten Gesamtkosten, erst bei höheren Verkehrsstärken wirkte sich hier die geringere

Kapazität in Form von überlastungsbedingten Staus und damit verbundenen höheren Reisezeitverlusten negativ aus.

Bei einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h sind je nach der für die grundhafte Erneuerung angesetzten Arbeitsstellendauer meist VX.1 und VX.2 (50 Tage) bzw. VX.2 und VX.3 (100 Tage, 150 Tage) die beiden Varianten mit den geringsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten, bei einer Breite von 11,0 m sind es immer VX.2 und VX.3. Variante VX.2 ist dabei bei einer Dauer von 50 Tagen die Variante mit den geringsten Kosten, bei Dauern von 100 und 150 Tagen ist es VX.3.

Ab einer Verkehrsstärke von 50.000 Kfz/24h sind immer VX.2 und VX.3 die beiden Varianten mit den geringsten Gesamtkosten, wobei VX.3 meist die geringsten Kosten aufweist. Ausnahmen hiervon treten lediglich bei einer Arbeitsstellendauer von 50 Tagen auf.

Ab einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h und einer Arbeitsstellendauer von 100 oder 150 Tagen weist somit VX.3 geringere Gesamtkosten auf als VX.2. Dies liegt daran, dass für VX.3 aufgrund der erforderlichen Verbreiterung höhere Investitionskosten anfallen. Die Vorteile die VX.3 gegenüber VX.2 aufgrund der längeren Bauzeit infolge Verkehrsführung 3s+1 (bei Variante VX.2) und den damit verbundenen länger andauernden baustellenbedingten Behinderungen wirken sich mit zunehmender Verkehrsstärke und zunehmender Arbeitsstellendauer immer stärker aus und können somit die höheren Investitionskosten der VX.3 ausgleichen.

Aus dem Vergleich der beiden Varianten mit den jeweils geringsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten und der Gegenüberstellung der sich aus dem Vergleich ergebenden Kosten und Nutzen im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse lassen sich folgende Ergebnisse ableiten (Anlage 13, Tabelle A13-1 bis A13-3):

- Unabhängig von der Arbeitsstellendauer ist bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h immer VX.1 volkswirtschaftlich sinnvoller als VX.2. Hierbei stehen den höheren Kosten für VX.2 teilweise keine positiven Nutzen gegenüber. Das heißt, dass VX.2 gegenüber VX.1 nicht nur höhere Investitionskosten und laufende Kosten aufweist, sondern außerdem durch VX.2 gegenüber VX.1 insgesamt keine positiven Nutzen aus Veränderung der Fahrzeiten, der Unfallkosten, der Betriebskosten sowie der Kosten aus Klima- und Schadstoffbelastung entstehen.
- Bei einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h ist bei einer Arbeitsstellendauer von 50 Tagen VX.2 der Variante VX.1 bzw. VX.3 vorzuziehen, da das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) $> 1,0$ ist.
- Bei einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24 h und einer Arbeitsstellendauer von 100 Tagen bzw. 150 Tagen ist in der Regel VX.3 als volkswirtschaftlich sinnvoller anzusehen als VX.2. Ausnahme hiervon ist die Breite 10,0 m bei einer Dauer von 100 Tagen, hier ergibt sich aus dem Vergleich von V1.3 (Planfall) mit V1.2 (Vergleichsfall) ein NKV von < 1 . Deshalb ist hier V1.2 als volkswirtschaftlich sinnvoller anzusehen.
- Bei Verkehrsstärken von 50.000 Kfz/24h und mehr schneidet VX.3 in der Bewertung meist besser ab als VX.2. Ausnahmen hiervon treten bei einer Arbeitsstellendauer von 50 Tagen und Breiten von 10,0 m bzw. 10, 5m auf.

Breite der befestigten Fläche 11,5 m

Betrachtet man die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten (Anlage 13, Bild 13-4), die während des Betrachtungszeitraums für die fünf Varianten anfallen, ist festzustellen, dass bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h immer V4.1 und V4.5 die beiden Varianten mit den geringsten Gesamtkosten sind. Ab einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h sind bei Arbeitsstellendauern von 150 Tagen immer V4.4 und V4.5 und bei Dauern von 100 und 50 Tagen V4.3 und V4.5 die Varianten mit den geringsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten.

Aus dem Vergleich der jeweils beiden Varianten mit den geringsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten und dem Vergleich der Nutzen-Kosten-Verhältnisse lassen sich folgende Ergebnisse ableiten (Anlage 13, Tabelle 13-4):

- Unabhängig von der Arbeitsstellendauer ist bis zu einer Verkehrsstärke von 60.000 Kfz/24h immer V4.5 die volkswirtschaftlich sinnvollste Variante.
- Bei Verkehrsstärken von 70.000 Kfz/24h ist bei Arbeitsstellendauern von 100 und 150 Tagen Variante V4.3 die volkswirtschaftliche sinnvollste Variante. Bei einer Dauer von 50 Tagen ist hingegen V4.5 sinnvoller. Erklären lässt sich dieser Effekt dadurch, dass sich die geringere Kapazität der Variante V4.5 aufgrund der geringeren Fahrstreifenbreiten erst bei sehr hohen Verkehrsstärken deutlich bemerkbar macht.

5.2.2 Berechnungsansatz hohe Baukosten

Bei Ansatz höherer Baukosten ergeben sich im Vergleich zum Ansatz mit mittleren Baukosten aufgrund der höheren Investitionskosten generell höhere volkswirtschaftliche Gesamtkosten. Auf die Reihenfolge der einzelnen Varianten hat dies nur geringe Auswirkungen (Anlage 13, Bild A13-5 bis A13-8). Folgende Änderungen sind jedoch festzustellen:

Breite 10,0 m: Bei einer Verkehrsstärke von 30.000 Kfz/24h sind nunmehr V1.1 und V1.3 die beiden Varianten mit den geringsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten.

Breite 10,5 m: Bis zu einer Verkehrsstärke bis 40.000 Kfz/24h ergeben sich insbesondere bei Arbeitsstellendauern von 100 und 150 Tagen größere Änderungen. Dabei ist vor allem festzustellen, dass nunmehr Variante V2.3 häufiger zu den beiden Varianten mit den geringsten Gesamtkosten zählt.

Breite 11,0 m: Bei einer Verkehrsstärke von 20.000 Kfz/24h und einer Arbeitsstellendauer von 100 Tagen sind nunmehr V3.1 und V3.3 die Varianten mit den geringsten Kosten.

Bei der Bildung eines NKV aus dem Vergleich der beiden Varianten mit den geringsten Gesamtkosten ist beim Ansatz hoher Baukosten im Vergleich zum Ansatz mit mittleren Baukosten folgendes festzustellen (Anlage 13, Tabelle A13-5 bis A13-8):

- Die Kosten von VX.3 gegenüber VX.2 werden geringer, das NKV steigt.
- Die Nachteile die VX.2 gegenüber VX.1 aufweist werden infolge höherer Investitionskosten größer.

- Bei einer Breite von 10,0 m, 100 Tagen Arbeitsstellendauer und einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h ist nun V1.3 volkswirtschaftlich sinnvoller als V1.2 (NKV > 1).
- Bei einer Breite von 10,5 m, 50 Tagen Arbeitsstellendauer und Verkehrsstärken von 50.000 und 60.000 Kfz/24h ist nun V2.3 volkswirtschaftlich sinnvoller als V2.2 (NKV > 1).
- Bei einer Breite von 11,0 m, 50 Tagen Arbeitsstellendauer und Verkehrsstärken von mehr als 40.000 ist nunmehr V3.3 volkswirtschaftlich sinnvoller als V3.2 (NKV > 1).

Ansonsten ergeben sich hinsichtlich des Gesamtergebnisses keine Änderungen gegenüber dem Ansatz mittlerer Baukosten.

5.2.3 Berechnungsansatz niedrige Baukosten

Abgesehen von den aufgrund geringeren Investitionskosten insgesamt niedrigeren Baukosten ändert sich gegenüber den für mittlere Baukosten gemachten Aussagen zu den Varianten mit den jeweils geringsten Baukosten meist nichts (Anlage 13, Bild A13-9 bis A13-12). Lediglich folgende Änderungen sind festzustellen:

Breite 11,0 m: Für den Fall DTV=20.000 Kfz/24h, Arbeitsstellendauer 150 Tage sind nunmehr V3.1 und V3.2 die beiden Varianten mit den geringsten Gesamtkosten.

Aus dem Vergleich der beiden Varianten mit den geringsten volkswirtschaftlichen Kosten ergibt sich insbesondere im Hinblick auf die Ergebnisse für mittlere Baukosten folgendes (Anlage 13, Tabelle A13-9 bis A13-12):

- Die Nachteile, die VX.3 infolge der Kosten für die Fahrbahnverbreiterung gegenüber VX.2 aufweist, werden größer. Dies ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund des geringeren Baukostenansatzes auch der Nachteil der VX.2 aufgrund höherer Baukosten infolge der Verkehrsführung 3s+1 geringer wird.
- Die Nachteile von VX.2 gegenüber VX.1 werden geringer.
- Bei einer Breite von 11,0 m, einer Arbeitsstellendauer von 50 Tagen und Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24h weist bei niedrigen Baukosten in der Regel V3.2 geringfügige Vorteile auf (NKV < 1). Ausnahme ist eine Verkehrsstärke von 60.000 Kfz/24h, hier erweist sich V3.3 als vorteilhafter als V3.2. Bei höheren Verkehrsstärken wirkt sich allerdings die geringere Kapazität der Verkehrsführung 4s+0 gegenüber 3s+1 (siehe Kap. 3.4.2, Tabelle 3-20) nachteilig aus. Somit gehen bei Verkehrsstärken von 70.000 Kfz/24h für V3.3 längere Reisezeiten in die Berechnungen ein.
- Insgesamt ergibt sich aber hinsichtlich der jeweils volkswirtschaftlich günstigsten Variante gegenüber mittleren Baukosten ein nur wenig verändertes Bild.

5.2.4 Variation der Baukostenaufteilung und Variation der Ermittlung der Anteile des DTVw, DTVu und DTVs

Die durchgeführten Variationen sowohl der Berechnung der Investitionskosten (Anlage 13, Bild A13-13) als auch der DTV-Werte für werktäglichen, sonntäglichen und

urlaubswerktäglichen Verkehr (Anlage 13, Bild A13-14) führen jeweils einzeln und insgesamt (Anlage 13, Bild A13-15) zu geringeren Gesamtkosten und zu einer leichten Verschiebung der Ergebnisse zugunsten der Variante VX.2 (Anlage 13, Tabelle A13-13 bis A13-16). Der Grund hierfür liegt darin, dass durch die Veränderung der Kostenaufteilung geringere Investitionskosten anfallen und somit auch die anteilige Erhöhung der Baukosten infolge 3s+1 Verkehrsführung absolut geringer ausfällt. Zum anderen verringern sich durch die Variation der DTV-Berechnung die zusätzlichen Reisezeitverluste durch die verlängerte Arbeitsstellendauer bei Verkehrsführung 3s+1. Diese Effekte treten in dieser Form bei allen untersuchten Breiten auf. Bei Kombination der Variationen wird dieser Effekt erwartungsgemäß verstärkt. Allerdings sind die Veränderungen als vergleichsweise gering einzustufen, hinsichtlich der beiden Varianten mit den geringsten Gesamtkosten ergeben sich gegenüber dem Standardrechnungsansatz keine Änderungen.

Die maximale Änderung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses durch die Variationen ist vergleichsweise gering, so dass Änderungen hinsichtlich der volkswirtschaftlich sinnvollsten Variante aufgrund der durchgeführten Variationen nur dann auftreten, wenn das NKV nahe bei 1,0 liegt.

5.2.5 Variation weiterer Einflussgrößen

Nachfolgend werden die Auswirkungen, die durch die Variation weiterer Einflussgrößen resultieren, zusammenfassend dargestellt. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um Änderungen der Unfallkostenraten, Änderungen der q-v-Beziehungen zur Berechnung der Fahrzeuggeschwindigkeiten und Änderungen der Bauzeitverlängerung infolge Verkehrsführung 3s+1. Ausgehend vom Normalfall, also zunächst ohne die oben vorgenommenen Variationen der Investitionskosten und der DTV-Berechnung, werden die sich aus der Variation der weiteren Einflussgrößen ergebenden minimalen und maximalen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten berechnet. Die Berechnungsergebnisse sind Anhang 13, Bild A13-16 bis A13-19 zu entnehmen. In Bild 5-1 sind die sich ergebenden Spannbreiten der Änderungen beispielhaft für den Fall mittlerer Baukosten, einer Breite von 10,0 m, Verkehrsstärken von 30.000

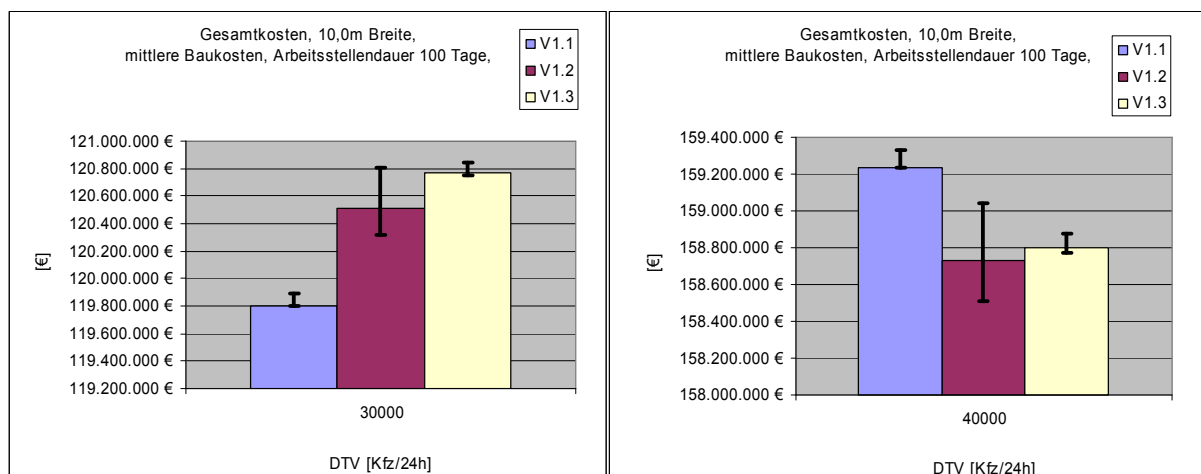


Bild 5-1: volkswirtschaftliche Gesamtkosten und mögliche Veränderung der Kosten durch Variation weiterer Einflussgrößen (Wertebereich dargestellt durch schwarzen Balken); befestigte Breite 10,0 m, mittlerer Baukostenansatz.

und 40.000 Kfz/24h und einer Arbeitsstellendauer von 100 Tagen angegeben. Gerade die Variante VX.2 weist hierbei eine sehr große Spannweite auf, so dass sich die Kostenbereiche der verschiedenen Varianten zum Teil deutlich überlagern. Allerdings bleiben die beiden Varianten mit den insgesamt geringsten volkswirtschaftlichen Kosten jeweils unverändert. Die große Spannweite der Ergebnisse für VX.2, d. h. die Varianten mit 3s+1 Verkehrsführung, ist dadurch zu erklären, dass sich insbesondere durch die Variation der Mehrkosten infolge nicht vollständiger Sperrung einer Richtungsfahrbahn und der längeren Dauer solcher Baumaßnahmen starke Veränderungen der Gesamtkosten ergeben.

Hinsichtlich der Wirkungen auf die Nutzen-Kosten-Verhältnisse der jeweils beiden Varianten mit den im Normalfall niedrigsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten wird deutlich, dass insbesondere im Bereich von Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24h häufig keine eindeutige Aussage zu treffen ist, welche der Varianten VX.2 oder VX.3 die jeweils volkswirtschaftlich sinnvollere ist (siehe Anlage 13, Tabelle 13-17 bis 13-20). Es zeigt sich, dass in diesem Bereich beide Varianten hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlich relevanten Komponenten so dicht beieinander liegen, dass bereits vergleichsweise geringe Änderungen der Berechnungsansätze zu anderen Ergebnissen führen können. Dabei ist zu beachten, dass höhere Baukosten und längere Arbeitsstellendauern ein tendenziell stabileres Ergebnis für VX.3 bewirken und niedrigere Baukosten und kürzere Dauer sich positiv auf VX.2 auswirken.

Für Verkehrsstärken von 20.000 bzw. 30.000 Kfz/24h ändert sich durch die Variation weiterer Einflussgrößen tendenziell nichts an den ursprünglich gemachten Aussagen. Variante VX.1 ist in jedem Fall volkswirtschaftlich sinnvoller als Variante VX.2. Beim Vergleich von VX.1 mit VX.2 ist festzustellen, dass Variante VX.2 teilweise gegenüber VX.1 keinen positiven Nutzen aufweist.

Für die untersuchten Breiten gelten dabei folgende Besonderheiten:

Breite 10,5 m (Anlage 13, Tabelle A13-18):

Bei einer Arbeitsstellendauer von 150 Tagen und Verkehrsstärken ab 50.000 Kfz/24h kann V2.3 relativ stabil als beste Variante angesehen werden.

Breite 11,0 m (Anlage 13, Tabelle A13-19):

Bei Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24h und Arbeitsstellendauern von 150 oder 100 Tagen ist in der überwiegenden Zahl der Fälle V3.3 der Variante V3.2 vorzuziehen. Bei Verkehrsstärken von 20.000 oder 30.000 Kfz/24h ist hingegen immer V3.1 diejenige Variante, die gegenüber den anderen Varianten volkswirtschaftliche Vorteile aufweist. In allen übrigen Fällen, also insbesondere bei Arbeitsstellendauern von 50 Tagen kann keine eindeutige Aussage getroffen werden, welche der Varianten die jeweils volkswirtschaftlich sinnvollere ist.

Breite 11,5 m (Anlage 13, Tabelle A13-20):

Die vorhandenen Spannweiten der Ergebnisse führen bei dieser Breite nicht dazu, dass sich die Kostenbereiche der verschiedenen Varianten bedeutsam überlagern.

Vielmehr weisen die Varianten V4.3, V4.4 und V4.5 bzw. V4.1 (bei Verkehrsstärken bis 30.000 Kfz/24h) deutlich geringere Baukosten auf als V4.2, so dass hier keine Ergebnisüberlagerungen festzustellen sind. Zum anderen weist auch die Variante mit Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA, V4.5, eine sehr große Kostenspannweite auf. Dies liegt in erster Linie an der durchgeführten Variation der Berechnungsparameter für den Verkehrsablauf. Insbesondere die Variation der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf 60 km/h führt aufgrund geringerer Fahrzeuggeschwindigkeiten zu längeren Reisezeiten. Diese große Spannweite bei V4.5 führt bei den teilweise nur geringen Unterschieden der Varianten im Hinblick auf die Gesamtkosten dazu, dass sich die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten der Varianten teilweise überlagern.

Beim Vergleich der beiden Varianten mit den im Normalfall niedrigsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten zeigt sich, dass bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h keine eindeutige Aussage getroffen werden kann, welche Variante (V4.1 oder V4.5) die volkswirtschaftlich sinnvollere ist. Bei Arbeitsstellendauern von 50 Tagen und Verkehrsstärken von 40.000 bis 70.000 Kfz/24h stellt V4.5 die volkswirtschaftlich sinnvollste Variante dar. Bei 100 Tagen Dauer und Verkehrsstärken von 40.000 – 70.000 Kfz/24h sowie bei 150 Tagen Dauer und Verkehrsstärken von 40.000 – 60.000 Kfz/24h kann keine eindeutige Aussagen getroffen werden, ob V4.5 oder V4.3 die volkswirtschaftlich sinnvollere Variante ist. Bei einer Dauer von 150 Tagen und einer Verkehrsstärke von 70.000 Kfz/24h ist V4.3 die sinnvollste Variante. In den Fällen in denen die Varianten hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlich relevanten Komponenten so dicht beieinander liegen, dass bereits vergleichsweise geringe Änderungen der Berechnungsansätze zu anderen Ergebnissen führen können, kann keine generelle Aussage getroffen werden, welche der beiden Varianten volkswirtschaftlich sinnvoller ist. Hier ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass in Fällen in denen trotz Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreite eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80km/h angeordnet wird eher V4.5 und in Fällen in denen Aufgrund der Mindestfahrstreifenbreite die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 60km/h reduziert wird, eher V4.3 bzw. V4.1 eingesetzt werden sollte. Ferner ist zu beachten, dass längere Arbeitsstellendauern eher für den Einsatz von V4.3 sprechen. Der jeweilige Baukostenansatz für die Investitionskosten (hoch, mittel, niedrig) hat bei den hier verglichenen Varianten keinen Einfluss. Daher gelten die in Tabelle A13-20 dargestellten Ergebnisse für alle drei Baukostenansätze.

5.2.6 Zusammenhang zwischen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten und der Arbeitsstellendauer

In Bild A13-20 bis A13-23, Anlage 13 werden die bestehenden Zusammenhänge zwischen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten und der Arbeitsstellendauer deutlich. Hierbei wurden die für Arbeitsstellendauern von 50, 100 und 150 Tagen berechnete Gesamtkosten linear verbunden. Folgende wesentliche Zusammenhänge sind erkennbar:

- Die Gesamtkosten nehmen generell mit längerer Arbeitsstellendauer zu.
- Der Grad der Kostensteigerung ist dabei von der Variante und der Verkehrsstärke abhängig.

Aufgrund dieser Zusammenhänge schneiden sich die Linien für die einzelnen Varianten. Das heißt, dass am jeweiligen Schnittpunkt zweier Linien ein Wechsel in der Reihung der Varianten im Bezug auf die Gesamtkosten stattfindet. Hinsichtlich der jeweiligen Variante mit den geringsten Gesamtkosten können folgende Erkenntnisse abgeleitet werden.

10,0 m bis 11,0 m Breite der befestigten Fläche:

- Bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h ist im untersuchten Bereich von 50 bis 150 Tagen Arbeitsstellendauer immer VX.1 die Variante mit den geringsten Gesamtkosten.
- Im Bereich von Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24h ist je nach Baukostenansatz VX.2 oder VX.3 die Variante mit den geringsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten. Der Wechsel zwischen VX.2 und VX.3 findet an den Schnittpunkten der Linien statt, diese liegen je nach Breite und Verkehrsstärke bei:

10,0 m Breite:

- 40.000 Kfz/24h: 94 Tagen (hohe Baukosten), 110 Tagen (mittlere Baukosten) und 125 Tagen (niedrige Baukosten)
- 50.000 Kfz/24h: 72, 84 und 96 Tagen
- 60.000 Kfz/24h: 60, 71 und 81 Tagen
- 70.000 Kfz/24h: 69, 80 und 92 Tagen

10,5 m Breite:

- 40.000 Kfz/24h: 65 Tagen (hohe Baukosten), 81 Tagen (mittlere Baukosten) und 97 Tagen (niedrige Baukosten)
- 50.000 Kfz/24h: 49, 62 und 75 Tage
- 60.000 Kfz/24h: 42, 53 und 64 Tage
- 70.000 Kfz/24h: 51, 63 und 76 Tage

11,0 m Breite:

- 40.000 Kfz/24h: 37 Tagen (hohe Baukosten), 53 Tagen (mittlere Baukosten) und 70 Tagen (niedrige Baukosten)
- 50.000 Kfz/24h: 26, 40 und 53 Tage
- 60.000 Kfz/24h: 22, 34 und 45 Tage
- 70.000 Kfz/24h: 28, 41 und 54 Tage

11,5 m Breite der befestigten Fläche

- Für diese Breite gilt, dass sich die Geraden im Regelfall nicht im Bereich der untersuchten Arbeitsstellendauern schneiden. Die Ergebnisse zugunsten V4.5 sind so stabil, dass sich durch eine Veränderung der Arbeitsstellendauer im Bereich von 50 bis 150 Tagen nahezu keine Veränderung hinsichtlich der volkswirtschaftlich sinnvollsten Variante ergibt. Lediglich für eine Verkehrsstärke von 70.000 Kfz/24h kommt es je nach Arbeitsstellendauer zu einem Wechsel von V4.5 zu V4.3.

5.2.7 Schlussfolgerungen

Insgesamt können folgende Empfehlungen für Behelfsverkehrsführungen im Zuge der hier betrachteten Baumaßnahmen und der betrachteten Breiten der befestigten Fläche getroffen werden. Bei den angegebenen Verkehrsstärken handelt es sich um querschnittsbezogene Werte die den Verkehr beider Fahrtrichtungen umfassen. Für die Empfehlungen wurde davon ausgegangen, dass sich der Verkehr gleichmäßig auf beide Fahrtrichtungen aufteilt.

Strecken mit einer Breite der befestigten Fläche von 10,0 m

- Bei Verkehrsstärken von bis zu 30.000 Kfz/24h Einrichtung einer Behelfsverkehrsführung der Form 3s+0 (Variante V1.1)
- Bei Verkehrsstärken von 40.000 Kfz/24 h in der Regel Einrichtung einer Behelfsverkehrsführung 3s+1 (Variante V1.2). Ausnahme sind Fälle bei denen mit hohen Baukosten oder mit einer längeren Dauer der Arbeitsstelle zu rechnen ist. In diesen Fällen sollte geprüft werden, ob eine Verbreiterung der Fahrbahn und nachfolgend die Einrichtung einer Verkehrsführung 4s+0 mit transportablen Schutzeinrichtungen möglich ist (Variante V1.3).
- Bei Verkehrsstärken von mehr als 40.000 Kfz/24h sollte im Einzelfall geprüft werden, ob Variante V1.2 oder V1.3 die volkswirtschaftlich sinnvollere Variante darstellen. Dabei sind folgende Zusammenhänge zu beachten:
 - Niedrige Baukosten, kurze Bauzeiten und niedrige Verkehrsstärken lassen Variante V1.2 vorteilhafter werden
 - Hohe Baukosten, lange Bauzeiten und hohe Verkehrsstärken lassen Variante V1.3 vorteilhafter werden.
 - Sollten die Investitionskosten für die Querschnittsverbreiterung bei Variante V1.3 deutlich unter dem hier angesetzten Wert von 541.700 € pro Fahrtrichtung liegen wird Variante V1.3 vorteilhafter. Liegen die Investitionskosten deutlich höher wird Variante V1.2 vorteilhafter.

Strecken mit einer Breite der befestigten Fläche von 10,5 m

- Bei Verkehrsstärken von bis zu 30.000 Kfz/24h Einrichtung einer Behelfsverkehrsführung der Form 3s+0 (Variante V2.1)
- Bei Verkehrsstärken ab 50.000 Kfz/24 h und Arbeitsstellendauern für die grundsätzliche Erneuerung einer Fahrbahn von deutlich mehr als 100 Tagen ist V2.3 die Vorzugsvariante.
- Bei Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24h und einer Arbeitsstellendauer von 50 – 100 Tagen bzw. einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h und einer Dauer von mehr als 100 Tagen sollte im Einzelfall geprüft werden, ob Variante V2.2 oder V2.3 die volkswirtschaftlich sinnvollere Variante darstellen. Dabei sind folgende Zusammenhänge zu beachten:
 - Niedrige Baukosten, kurze Bauzeiten und niedrige Verkehrsstärken lassen Variante V2.2 vorteilhafter werden.

- Hohe Baukosten, lange Bauzeiten und hohe Verkehrsstärken lassen Variante V2.3 vorteilhafter werden.
- Sollten die Investitionskosten für die Querschnittsverbreiterung bei Variante V2.3 deutlich unter dem hier angesetzten Werten von 452.853 € pro Fahrtrichtung liegen wird Variante V2.3 vorteilhafter. Liegen die Investitionskosten deutlich höher wird Variante V2.2 vorteilhafter.

Strecken mit einer Breite der befestigten Fläche von 11,0 m

- Bei Verkehrsstärken von bis zu 30.000 Kfz/24h Einrichtung einer Behelfsverkehrsführungen der Form 3s+0 (Variante V3.1).
- Bei Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24 h und Arbeitsstellendauern für die grundlegende Erneuerung einer Fahrbahn von 100 Tagen und mehr ist V3.3 die Vorzugsvariante.
- Bei Verkehrsstärken von 40.000 Kfz/24h und einer Arbeitsstellendauer von 50 Tagen sollte im Einzelfall geprüft werden, ob Variante V3.2 oder V3.3 die volkswirtschaftlich sinnvollere Variante darstellt. Dabei sind folgende Zusammenhänge zu beachten:
 - Niedrige Baukosten, kurze Bauzeiten und niedrige Verkehrsstärken lassen Variante V3.2 vorteilhafter werden
 - Hohe Baukosten, lange Bauzeiten und hohe Verkehrsstärken lassen Variante V3.3 vorteilhafter werden.
 - Sollten die Investitionskosten für die Querschnittsverbreiterung bei Variante V3.3 deutlich unter dem hier angesetzten Wert von 364.005 € pro Fahrtrichtung liegen wird Variante V3.3 vorteilhafter. Liegen die Investitionskosten deutlich höher wird Variante V3.2 vorteilhafter.

Strecken mit einer Breite der befestigten Fläche von 11,5 m

- Bei Verkehrsstärken von bis zu 60.000 Kfz/24h Einrichtung einer Behelfsverkehrsführungen der Form 4s+0 mit transportabler Schutzeinrichtung und geringfügiger Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten.(Variante V4.5)
- Bei hohen Verkehrsstärken (über 60.000 Kfz/24h) und insbesondere bei Arbeitsstellendauern von deutlich mehr als 50 Tagen sollte im Einzelfall geprüft werden, ob eine Verbreiterung der befestigten Fläche auf 12,0 m Breite und die Einrichtung einer 4s+0 Verkehrsführung unter Einhaltung der Mindestfahrstreifenbreiten möglich ist. (Variante V4.3)
- Sollte aus Gründen der Verkehrssicherheit bei einer Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA 1995 [BMVBW 1995] eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h geboten bzw. erforderlich sein, sollte im Einzelfall geprüft werden, ob nicht eine Verbreiterung der befestigten Fläche auf 12,0 m Breite und die Einrichtung einer 4s+0 Verkehrsführung unter Einhaltung der Mindestfahrstreifenbreiten möglich ist. (Variante V4.3)

5.3 Nutzen der Fahrbahnverbreiterung hinsichtlich Arbeitsstellen kürzerer Dauer

Um den Gebrauchswert und die Funktionsfähigkeit der Autobahnen dauerhaft zu erhalten, sind zahlreiche Tätigkeiten zur Unterhaltung und Instandsetzung erforderlich. Diese werden meist im Rahmen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD), also Arbeitsstellen, die nicht länger als einen Tag bestehen und in der Regel nur in den Tagesstunden betrieben werden, durchgeführt. Die durchzuführenden Tätigkeiten werden dabei in einer unterschiedlichen Häufigkeit, periodisch mehrmals im Jahr bzw. nur nach Bedarf, durchgeführt. Ferner bestimmen die Tätigkeiten die Lage der Arbeitsstelle (am Mittelstreifen, auf der Fahrbahn, neben der Fahrbahn), die Art der Durchführung (stationär oder wandernd) und die Dauer. Die von DURTH/KLOTZ/STÖCKERT (1999) durchgeführte Analyse zu Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen lieferte detaillierte Aussagen zu Art, Dauer und Verkehrsführung von 3.820 AkD. Die am häufigsten durchgeführten Arbeiten sind demnach: Schutzplankenreparaturen (34 %), Mäharbeiten (14 %), Kehrarbeiten (13 %), Gehölzpflege (8 %) und Fahrbahndeckenreparaturen (8 %). Dabei variieren Häufigkeit und Dauer der AkD stark in Abhängigkeit von der jeweils durchgeführten Tätigkeit.

Hinsichtlich der Verkehrsführung in AkD lassen sich an Autobahnen mit zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit Seitenstreifen vor allem drei Fälle unterscheiden:

- Sperrung des linken Fahrstreifens
- Sperrung des rechten Fahrstreifens
- Sperrung des Seitenstreifens

Betrachtet man die von DURTH/KLOTZ/STÖCKERT (1999) ausgewerteten AkD hinsichtlich der vorliegenden Fahrstreifensperrungen ergibt sich das in Tabelle 5-1 dargestellte Bild.

| Fahrstreifen-sperrung | Anzahl | Anteil | Dauer [h] | Schutzplanken-reparatur | Mäharbeiten | Kehrarbeiten | Fahrbahn-decken-reparatur | Gehölzpflege | Sonstige Arbeiten |
|-----------------------|--------|--------|-----------|-------------------------|-------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------------|
| Linker FS | 679 | 34% | 3,7 | 52 | 35 | 93 | 6 | 80 | 35 |
| Rechter FS | 408 | 21% | 4,4 | 18 | 36 | 37 | 46 | 6 | 57 |
| Seitenstreifen | 907 | 45% | 5,1 | 53 | 56 | 31 | 3 | 16 | 40 |

Tabelle 5-1: Art der Fahrstreifensperrung [nach DURTH/KLOTZ/STÖCKERT (1999)]

Bei einer Sperrung des linken Fahrstreifens besteht zum Teil die Möglichkeit, den Seitenstreifen für den Verkehr freizugeben und somit zwei Fahrstreifen für den Verkehr beizubehalten. Dies setzt voraus, dass ein ausreichend breiter Seitenstreifen

vorhanden ist. Setzt man die Anforderungen an Behelfsfahrstreifenbreiten voraus, sollte eine Fahrstreifenbreite von mindestens 3,00 m vorhanden sein, da die Arbeitsstelle sowohl räumlich als auch zeitlich eng begrenzt ist.

Der für den Behelfsfahrstreifen zur Verfügung stehende Bereich umfasst neben dem Seitenstreifen auch den Bereich des Randstreifens, der nicht durch die Markierung belegt ist. Orientiert man sich an den Regelungen der RSA 1995 [BMVBW 1995] und rechnet die Markierung mit 0,30 m Breite zur Hälfte dem angrenzenden Behelfsfahrstreifen zu, ergeben sich die in Tabelle 5-2 dargestellten Behelfsfahrstreifenbreiten. Es ist zu erkennen, dass eine Behelfsfahrstreifenbreite von mindestens 3,0 m nur bei Breiten der befestigten Fläche von 11,50 m oder 12,0 m zu erreichen ist. Für die betrachteten Breiten von 10,0 m, 10,5 m und 11,0 m steht bei Arbeiten am linken Fahrbahnrand und Sperrung des linken Fahrstreifens daher nur ein Fahrstreifen zur Verfügung. Bei 11,5 m und 12,0 m Breite können unter Mitbenutzung des Seitenstreifens in diesen Fällen weiterhin zwei Fahrstreifen neben der Arbeitsstelle weitergeführt werden.

| Breite der befestigten Fläche | Randstreifen | Seitenstreifen | Breite neben der Markierung | Breite des Behelfsfahrstreifens |
|-------------------------------|--------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 11,0 m (RQ 29) | 0,50 m | 2,50 m | 2,70 m | 2,85 m |
| 11,5 m (RQ 29,5) | 0,75 m | 2,50 m | 2,95 m | 3,10 m |
| 12,0 m (RQ 31) | 0,75 m | 3,00 m | 3,45 m | 3,60 m |

Tabelle 5-2: Behelfsfahrstreifenbreite bei Seitenstreifenfreigabe

Arbeiten am rechten Fahrbahnrand können bei einer ausreichenden Breite von Seitenstreifen und Randstreifen komplett von dort aus durchgeführt werden, ohne dass der rechte Fahrstreifen gesperrt werden muss. Detaillierte Untersuchungen wie groß die erforderliche Breite tatsächlich ist, liegen zurzeit nicht vor. Anhand einer Abschätzung (vgl. [BARK/BRANNOLTE/FISCHER/et. al. 2006]) kann diese Breite allerdings überschlägig ermittelt werden. Bei einer Breite des Bemessungsfahrzeuges Lkw von 2,55 m und einem seitlichen Bewegungsspielraum von 0,25m je Seite ergibt sich eine erforderliche Breite von 3,05m. Bei einer 11,50 m breiten befestigten Fläche stehen neben der Markierung 2,95 m zur Verfügung. Die Praxis zeigt, dass bei diesen Maßen regelmäßig Arbeiten am rechten Fahrbahnrand vom Seitenstreifen aus durchgeführt werden, ohne dass dabei der rechte Fahrstreifen gesperrt wird.

Unfalluntersuchungen an Arbeitsstellen kürzerer Dauer zeigen allerdings auch, dass es bei solchen Arbeiten auf dem Seitenstreifen besonders häufig zu Unfällen mit dem fließenden Verkehr kommt [vgl. ZIMMERMANN/MORITZ 2004]. Hierbei handelt es sich in der Regel um eine seitliche Kollision von Fahrzeugen (Streifen).

Zusammenfassend lässt sich daher feststellen, dass Arbeiten am rechten Fahrbahnrand nur dann ohne Inanspruchnahme des rechten Fahrstreifens durchgeführt werden können, wenn mindestens eine befestigte Breite von 11,50 m zur Verfügung steht. In diesem Falle können neben der Arbeitsstelle zwei Fahrstreifen weitergeführt werden. Bei geringeren Breiten der befestigten Fläche muss bei Arbeiten am rechten Fahrbahnrand neben dem Seitenstreifen auch der rechte Fahrstreifen gesperrt werden. Somit kann nur ein Fahrstreifen neben der Arbeitsstelle weitergeführt werden. Es wird deutlich, dass sich durch eine Verbreiterung der befestigten Fläche auf 12,0 m Breite im Vorfeld von Arbeitsstellen längerer Dauer positive Effekte auf die Durchführung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer ergeben können. Voraussetzung hierfür ist, dass die verbreiterte Fläche auch nach Abschluss der Baumaßnahmen in voller Breite nutzbar ist. Die Auswirkungen der Verbreiterung hinsichtlich des Verkehrsablaufes bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer sollen nachfolgend abgeschätzt werden. In der Untersuchung von BARK/BRANNOLTE/FISCHER/et. al. (2006) wurden für verschiedene Querschnitte die Reisezeitverluste infolge Arbeitsstellen kürzerer Dauer ermittelt (siehe Tabelle 5-3). Durch eine dauerhaft zur Verfügung stehende 12,0 m breite befestigte Fläche ergeben sich im Vergleich zu den anderen Breiten entsprechende Vorteile, da wie oben beschrieben insbesondere keine Reduktion der Zahl der Fahrstreifen erfolgen muss.

| befestigte Breite | DTV [Kfz/24h] | staubedingte Reisezeitverluste [h/Jahr] | |
|--------------------------|-------------------------|--|------------------|
| | | Pkw - werktags | GV - werktags |
| 10,0m / 10,5 m/ 11,0m | 20.000 bis 30.000 | 0 | 0 |
| | 40.000 | 393 | 101 |
| | 50.000 | 4137 | 1415 |
| | 60.000 | 14580 | 5938 |
| | 70.000 | 21864 | 10710 |
| 11,5 m | 20.000 bis 50.000 | 0 | 0 |
| | 60.000 | 4 | 1 |
| | 70.000 | 131 | 32 |
| 12,0 m | 20.000 bis 50.000 | 0 | 0 |
| | 60.000 | 1 | 0 |
| | 70.000 | 100 | 23 |

Tabelle 5-3: staubedingte jährliche Reisezeitverluste infolge Arbeitsstellen kürzerer Dauer (BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. 2006)

In Anlehnung an die Untersuchungen von DURTH/KLOTZ/STÖCKERT (1999) zu Arbeitsstellen kürzerer Dauer wurden von BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) die in Tabelle 5-4 dargestellten Häufigkeiten, Dauern und Verkehrsführungen für die Berechnung der Reisezeitverluste infolge AkD angenommen. Die Häufigkeit beruht auf der Annahme, dass im Laufe eines Jahres im Durchschnitt 13,1 AkD/km eingerichtet werden und bei diesen Arbeitsstellen in 34 % der Fälle der linke Fahrstreifen und in 45 % der Fälle der Seitenstreifen gesperrt wird. Verkehrsbehinderungen durch AkD

auf dem rechten Fahrstreifen werden von der Breite der befestigten Fläche nicht beeinflusst, sie können somit beim Vergleich verschiedener Breiten vernachlässigt werden.

| | | Häufigkeit | Dauer |
|----------------------------------|---|--------------|-----------|
| Arbeiten am Mittelstreifen | Sperrung des linken Fahrstreifens ggfs. Seitenstreifenfreigabe | 4 AkD/(km*a) | 5 Stunden |
| Arbeiten am rechten Fahrbahnrand | Sperrung des Seitenstreifens, erforderlichenfalls Sperrung des rechten Fahrstreifens | 6 AkD/(km*a) | 5 Stunden |

Tabelle 5-4: Ansätze von Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen kürzerer Dauer für die Kosten- Nutzen- Analyse [BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. 2006]

Die vermiedenen Reisezeitverluste wurden mit den in Kapitel 4.5.4 beschriebenen Kostensätzen monetarisiert und der Barwert der über 30 Jahre jährlich anfallenden Nutzen berechnet. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 5-5 dargestellt. Es zeigt sich, dass durch eine Verbreiterung von 11,5 m auf 12,0 nur vergleichsweise geringen Nutzen aus Veränderungen des Verkehrsablaufes bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer zu erwarten sind. Dem entgegen ist bei einer Verbreiterung von 10,0 m, 10,5 m oder 11,0 m auf 12,0 m Breite insbesondere bei Verkehrsstärken von mehr als 40.000 Kfz/24h mit hohen Nutzen zu rechnen.

| Verbreiterung auf 12,0 m von | DTV [Kfz/24h] | vermiedene staubedingte Reisezeitverluste [h/Jahr] | | jährliche Nutzen durch vermiedene Reisezeiten | | Barwert der Nutzen über 30 Jahre |
|------------------------------|---------------|--|---------------|---|---------------|----------------------------------|
| | | Pkw - werktags | GV - werktags | Pkw - werktags | GV - werktags | |
| 10,0m / 10,5 m / 11,0m | 20.000 | 0 | 0 | 0 € | 0 € | 0 € |
| | 30.000 | 0 | 0 | 0 € | 0 € | 0 € |
| | 40.000 | 393 | 101 | 2.562 € | 3.372 € | 116.309 € |
| | 50.000 | 4137 | 1415 | 26.973 € | 47.236 € | 1.454.536 € |
| | 60.000 | 14579 | 5938 | 95.055 € | 198.225 € | 5.748.414 € |
| | 70.000 | 21764 | 10687 | 141.901 € | 356.758 € | 9.773.938 € |
| 11,5 m | 20.000 | 0 | 0 | 0 € | 0 € | 0 € |
| | 30.000 | 0 | 0 | 0 € | 0 € | 0 € |
| | 40.000 | 0 | 0 | 0 € | 0 € | 0 € |
| | 50.000 | 0 | 0 | 0 € | 0 € | 0 € |
| | 60.000 | 3 | 1 | 20 € | 33 € | 1.038 € |
| | 70.000 | 31 | 9 | 202 € | 300 € | 9.850 € |

Tabelle 5-5: Ansätze von Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen kürzerer Dauer für die Kosten- Nutzen- Analyse

Somit lässt sich möglicherweise für schmale Ausgangsquerschnitte und Verkehrsstärken von mehr als 40.000 Kfz/24h allein aus den Vorteilen bezüglich der Verkehrsführung bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer eine Verbreiterung der Querschnitte rechtfertigen. Dies bedeutet, dass generell die Frage gestellt werden müsste, ob es aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll ist, Autobahnquerschnitte, die eine befestigte Breite von weniger als 11,5 m aufweisen, zur Vermeidung von Staus infolge Arbeitsstellen kürzerer Dauer zu verbreitern.

Die Betrachtung dieser Effekte steht nicht im Mittelpunkt der Fragestellungen dieser Arbeit. Der Vollständigkeit halber soll hiermit auf mögliche positive Wirkungen einer

Fahrbahnverbreiterung hingewiesen werden. Eine eingehende Betrachtung dieser Effekte würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

5.4 Kosten für Fahrbahnverbreiterungen bei denen anhand der durchgeführten Vergleiche VX.3 gerade volkswirtschaftlich sinnvoll/nicht sinnvoll ist.

Der in Kapitel 5.2 durchgeführte Vergleich hat in vielen Fällen ergeben, dass eine Variante mit vorheriger Verbreiterung der Fahrbahn häufig volkswirtschaftlich die sinnvollste Variante darstellt. Das Ergebnis fällt dabei häufig nur knapp zugunsten dieser Variante aus. In weiteren Fällen wurde die Variante mit Fahrbahnverbreiterung nur knapp von einer günstigeren Variante übertroffen. Diese knappen Ergebnisse betreffen vor allem Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24 h und gelten für den Vergleich von Variante VX.2 (Varianten mit 3s+1 Verkehrsführung) mit VX.3 (Variante mit vorheriger Fahrbahnverbreiterung).

Im Anhang, Anlage 13, Tabelle A13-21 bis A13-24 wird dargestellt, ab welchen Investitionskosten für die Fahrbahnverbreiterung sich das Ergebnis bezüglich der volkswirtschaftlich sinnvollsten Variante ändert. Für die Berechnung der Daten wurden die in Kapitel 5.2.4 und 5.2.5 durchgeführten Variationen vernachlässigt, es wurde vom Standardberechnungsfall ausgegangen.

Dauer der Arbeitsstelle für die Querschnittsverbreiterung

In den Berechnungen wurde für die Verbreiterung der Richtungsfahrbahnen eine Bauzeit von 35 Tagen je Richtungsfahrbahn angenommen. Sollte die tatsächliche Bauzeit hiervon abweichen, ändern sich folglich auch die Werte der in das Bewertungsverfahren eingehenden Kostenkomponenten. Bei einer längeren Dauer ist mit höheren Unfallkosten und höheren Reisezeitverlusten zu rechnen, bei einer kürzeren Dauer entsprechend mit geringeren Kosten. Um diese Effekte abzuschätzen, wurden die Berechnungen auch mit Bauzeiten von 20 Tagen und 50 Tagen durchgeführt. Demnach wirkt sich eine Verlängerung bzw. Verkürzung der Bauzeit für die Querschnittsverbreiterung wie in Tabelle 5-6 dargestellt auf die volkswirtschaftlichen Kosten aus. Weicht die tatsächliche Dauer deutlich von den angenommenen 35 Tagen ab, sollten die in das Berechnungsverfahren eingehenden Kosten entsprechend den in Tabelle 5-6 abgeschätzten Mehr- oder Minderkosten pro Woche korrigiert werden. Die Angaben in Tabelle 5-6 beziehen sich jeweils auf eine Fahrtrichtung. Bei einer Bauzeitverlängerung erhöhen sich die Kosten, bei einer Verkürzung vermindern sich die Kosten.

| Verkehrsstärke | Arbeitsstellen- dauer | Unfallkosten | Zeitkosten, Betriebskosten, Schadstoff- u. Klimabelastung | Summe | Änderung pro Woche Mehr- /Minderdauer |
|----------------|--------------------------|--------------|--|----------|---|
| 70.000 | 35 Tage | 9841,65 | 19.427 € | 29.269 € | 5.854 € |
| | 20 Tage | 5623,8 | 11.101 € | 16.725 € | |
| | 50 Tage | 14059,5 | 27.753 € | 41.812 € | |
| 60.000 | 35 Tage | 8435,7 | 15.199 € | 23.634 € | 4.727 € |
| | 20 Tage | 4820,4 | 8.685 € | 13.505 € | |
| | 50 Tage | 12051 | 21.712 € | 33.763 € | |
| 50.000 | 35 Tage | 7029,75 | 10.933 € | 17.962 € | 3.592 € |
| | 20 Tage | 4017 | 6.247 € | 10.264 € | |
| | 50 Tage | 10042,5 | 15.618 € | 25.661 € | |
| 40.000 | 35 Tage | 5623,8 | 7.767 € | 13.390 € | 2.678 € |
| | 20 Tage | 3213,6 | 4.438 € | 7.652 € | |
| | 50 Tage | 8034 | 11.095 € | 19.129 € | |
| 30.000 | 35 Tage | 4217,85 | 5.387 € | 9.605 € | 1.921 € |
| | 20 Tage | 2410,2 | 3.078 € | 5.489 € | |
| | 50 Tage | 6025,5 | 7.696 € | 13.722 € | |
| 20.000 | 35 Tage | 2811,9 | 3.367 € | 6.179 € | 1.236 € |
| | 20 Tage | 1606,8 | 1.924 € | 3.531 € | |
| | 50 Tage | 4017 | 4.810 € | 8.827 € | |

Tabelle 5-6: Einfluss der Bauzeit für Querschnittsverbreiterung auf die Gesamtkosten, Angabe je Fahrtrichtung

5.5 Bereich von 30.000 bis 40.000 Kfz/24 h - Einsatzgrenze der Be- helfsverkehrsführung 3s+0

Bis auf Strecken mit einer Breite der befestigten Fläche von 11,5 m erweist sich für Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h immer die Variante mit Verkehrsführung 3s+0 als volkswirtschaftlich sinnvoller als die andere untersuchte Variante. Bei Verkehrsstärken von 40.000 Kfz/24h ist eine 3s+0 Verkehrsführung nicht mehr volkswirtschaftlich sinnvoll. Die Begründung hierfür liegt in der eingeschränkten Kapazität dieser Verkehrsführung, die in einer Fahrtrichtung lediglich einen Fahrstreifen aufweist. Wird die Kapazität dieser Verkehrsführung erreicht, resultieren hieraus Staus, die eine entsprechende Verlängerung der Fahrzeiten nach sich ziehen. Die sich aus den längeren Fahrzeiten ergebenden Zeitkosten bedingen letztendlich das schlechte Abschneiden der Varianten mit 3s+0 Verkehrsführung bei Verkehrsstärken von 40.000 Kfz/24h und mehr.

Offen bleibt der Verkehrsstärkebereich von 30.000 Kfz/24h bis 40.000 Kfz/24h. Eine Empfehlung welche Verkehrsführung in diesem Bereich volkswirtschaftlich sinnvoll ist, hängt letztendlich davon ab, welche Kapazität eine Verkehrsführung 3s+0 aufweist und welche verkehrlichen Randbedingungen für den zu betrachtenden Fall gelten. Solche Randbedingungen, welche die Kapazität beeinflussen können, sind beispielsweise Schwerverkehrsanteil, Längsneigung, Lage der Strecke (Ballungsraum, ländlicher Raum).

Aus den Berechnungsansätzen der RBAP 1996 [BMVBW 1996a] ergibt sich bei einer Grundleistungsfähigkeit von 1.830 Pkw-E/h und den Randbedingungen „Überleitung“ und „Fahrstreifenreduktion“ eine Leistungsfähigkeit von 1.650 Pkw-E/h für den einzelnen Fahrstreifen der Verkehrsführung 3s+0. Unter Annahme einer gleichmäßigen Verkehrsbelastung für beide Fahrtrichtungen, einem SV-Anteil von 15% und einem Anteil der Spitzenstunde am DTV von 10% ergibt sich hieraus eine maximale tägliche Verkehrsbelastung von 30.700 Kfz/24h. In den RSA 1995 [BMVBW 1995] heißt es in Kapitel 2.3.1 zur Verminderung der Zahl der Fahrstreifen: „Die Zahl der Fahrstreifen kann im Bereich der Arbeitsstelle ausnahmsweise verringert werden, wenn bei zwei Fahrstreifen je Richtung die zu erwartenden Verkehrsspitzen weniger als 1.500 Kfz/h [...] betragen.“

Für die Einsatzgrenze des 3s+0 folgt daraus, dass oberhalb einer Verkehrsbelastung von etwa 30.000 Kfz/24h im Einzelfall geprüft werden sollte, ob die tatsächlichen verkehrlichen Randbedingungen eine höhere Kapazität ermöglichen bzw. niedrige Spitzenstundenbelastungen zu erwarten sind und daher der Einsatz dieser Verkehrsführung vertretbar ist. Liegt die zu erwartende Verkehrsbelastung über der Kapazität der Verkehrsführung sollte auf den Einsatz der Verkehrsführung 3s+0 verzichtet werden. Stattdessen sollte dann die Variante zum Einsatz kommen, die sich bei einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h als volkswirtschaftlich sinnvoll erwiesen hat.

5.6 Vergleich der untersuchten Varianten mit einem Querschnitt mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche

In den zur Zeitpunkt der Abfassung dieser Arbeit noch nicht gültigen Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) [FGSV 2005] ist als neuer vierstreifiger Regelquerschnitt der RQ 31 mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche je Fahrtrichtung vorgesehen. Die gegenüber dem RQ 29,5 um 0,5 m breitere befestigte Fläche wird insbesondere mit den Anforderungen der Behelfsverkehrsführungen bei Arbeitsstellen längerer Dauer begründet. Aus den Anforderungen, die aus den Behelfsverkehrsführungen resultieren, wurde die befestigte Breite des vierstreifigen „Standardautobahnquerschnitt“ bereits in der RAS-Q 1996 [FGSV 1996] von 11,0 m je Fahrbahn (Querschnitt a 4 ms – RQ 29 der RAS-Q 1982 [FGSV 1982]) auf 11,5 m vergrößert. Der RAS-Q 1996 [FGSV 1996] war ein Allgemeines Rundschreiben Straßenbau des Bundesministers für Verkehr aus dem Jahr 1991 (ARS 25/1991 [BMVBW 1991]) vorausgegangen, in dem die Mindestbreite des Verkehrsraumes bei zweibahnigen Bundesfernstraßen mit Standstreifen auf 11,5 m festgelegt wurde. Somit wurde bereits durch dieses Rundschreiben der Regelquerschnitt der RAS-Q 1982 [FGSV 1982] hinsichtlich der befestigten Breite aufgeweitet. Die Aufweitung erfolgte unter Beibehaltung der Kronenbreite von 29,0 m durch Verringerung der Bankettbreiten bzw. der Mittelstreifenbreite. Die Begründung der Verbreiterung der befestigten Fläche auf 11,5 m lag ebenfalls in dem Erfordernis eine Verkehrsführung der Form 4s+0 einrichten zu können. Neben dieser, im Hinblick auf die Einrichtung von Behelfsverkehrsführungen, positiven Entwicklung der Verbreiterung der befestigten Flächen der zweibahnig-vierstreifigen Standardautobahnquerschnitte von 11,0 m in der RAS-Q 1982 [FGSV 1982] auf 12,0 m in der RAA (Entwurf) [FGSV 2005], waren in den letzten Jahrzehnten auch negative Entwicklungen festzustellen. So wurde in der RAL 1974 [FGSV 1974] der Regelquerschnitt RQ 29 eingeführt und damit die Breite der befestigten Fläche von vorher 12,0 m auf 11,0 m reduziert.

Darüber hinaus wurde unterhalb des RQ 29 verstärkt der Einsatz des RQ 26 mit 10,0 m Breite propagiert und innerhalb der Regelwerke verankert [vgl. z. B. HÖRBER 1977]. So ermöglichte z. B. die RAS-Q 1982 [FGSV 1982] auch den Einsatz des Querschnittes b 4 ms (RQ 26) mit einer Breite der befestigten Fläche von 10,0 m im Zuge von Straßen der Kategorie A I und A II. Der Einsatz dieses Querschnittes wur-

de durch die RAS-Q 1996 [FGSV 1996] auf den Bereich von Regional- und Stadtautobahnen der Kategorien A II, B I und B II beschränkt.

Nachfolgend soll dargestellt werden, welche Nutzen und Kosten sich aus der Realisierung eines Querschnittes mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche, gegenüber der Realisierung eines Querschnittes mit 10,0 m, 10,5 m, 11,0 m oder 11,5 m befestigter Breite, in dem hier betrachteten Zeitraum von 30 Jahren ergeben.

Hierzu wurden die Gesamtkosten über den betrachteten Zeitraum von 30 Jahren bei einem Querschnitt mit 12,0 m Breite ermittelt und mit den Gesamtkosten der jeweils sinnvollsten Variante jeder Breite verglichen (siehe Anlage 13, Tabelle A13-25).

Es zeigt sich, dass bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h Breiten von 10,0 m und 10,5 m geringere volkswirtschaftliche Gesamtkosten haben als ein Querschnitt mit 12,0 m breiter befestigter Fläche. Oberhalb dieser Verkehrsstärke hat ein Querschnitt mit 12,0 m Breite Kostenvorteile gegenüber schmaleren Querschnitten. Querschnitte mit 11,5 m und 12,0 m Breite unterschieden sich hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten nur vergleichsweise gering, wobei der schmalere Querschnitt mit Variante V4.5 bis auf eine Verkehrsstärke von 70.000 Kfz/24h Kostenvorteile aufweist. In den Fällen, in denen V4.5 Vorzugsvariante ist, sollte beachtet werden, dass die Gesamtkosten von V4.5 von den durchgeführten Variationen der Einflussgrößen stark beeinflusst wurden. Insbesondere die Annahme einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h bei Variante V4.5 führte zu deutlich höheren volkswirtschaftlichen Gesamtkosten. Diese lagen bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h um 114.000 € (DTV = 20.000 Kfz/24h, 50 Tage Arbeitsstellendauer) bis ca. 738.000 € (DTV = 70.000 Kfz/24h, 150 Tage Arbeitsstellendauer) höher als bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Diese Erhöhung der Gesamtkosten würde ab einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h dazu führen, dass der Querschnitt mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche Kostenvorteile aufweisen würde.

Die Differenzen der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten von Autobahnquerschnitten mit 10,0 m, 10,5 m, 11,0 m und 11,5 m Breite der befestigten Fläche zu einem Querschnitt mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche sind Tabelle A13-26, Anlage 13 zu entnehmen.

Bei obiger Kostenbetrachtung wurden die Einflüsse der Querschnittsbreite auf Arbeitsstellen kürzerer Dauer, den hierbei realisierbaren Verkehrsführungen und den hieraus resultierenden Folgen für den Verkehrsablauf vernachlässigt. Wie in Abschnitt 5.3 ausgeführt, ist die Breite der befestigten Fläche bzw. die daraus resultierende Breite des Seitenstreifens ausschlaggebender Punkt welche Behelfsverkehrsführungen im Zuge Arbeitsstellen kürzerer Dauer eingerichtet werden können. In Tabelle 5-5 (S. 135) wurden für den Vergleich einer 12,0 m breiten befestigten Fläche und Querschnitten mit geringeren Breiten die Barwerte der über 30 Jahre anfallenden Nutzen durch vermiedene Reisezeitverluste dargestellt.

Um den Nutzen, der sich durch die Realisierung eines Querschnitts mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche gegenüber schmaleren Querschnitten im Betrachtungszeitraum hätte realisieren lassen, zu ermitteln, werden die Nutzen die aus der Betrachtung

tung Arbeitsstellen kürzerer Dauer resultieren und die in Tabelle A13-26 (Anlage 13) aufgeführten Differenzen der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten addiert. Hieraus ergeben sich die in Tabelle A13-27 (Anlage 13) aufgeführten Nutzen bei Realisierung eines Querschnittes mit 12,0 m Breite der gefestigten Fläche gegenüber schmaleren Querschnitten im 30-jährigen Betrachtungszeitraum von Jahr 1 bis Jahr 30.

Da der Betrachtungszeitraum so gewählt wurde, dass im Jahr vor dem Bezugszeitpunkt eine grundhafte Erneuerung des Straßenoberbaus erforderlich ist, bedeutet dies, dass die Realisierung des breiteren Querschnittes nicht im Jahr vor dem Bezugszeitpunkte sondern entsprechend dem Abschreibungszeitraum für den Oberbau 30 Jahre früher stattgefunden hat. Dabei fallen für den Bau der unterschiedlich breiten Querschnitte unterschiedliche Investitionskosten an, siehe Tabelle 4-4 (S. 106). Entsprechend dem Verfahren nach EWS 1997 [FGSV 1997] und unter Berücksichtigung der in Tabelle 4-3 genannten Abschreibungszeiträume und Kostenverteilungen können nun Barwerte der Investitionskosten für die einzelnen Querschnitte ermittelt werden. Aus dem Vergleich der Barwerte der betrachteten Querschnitte mit dem Barwert der Investitionskosten für einen Querschnitt mit einer befestigten Breite von 12,0 m lassen sich die Investitionsmehrkosten für den breiteren Querschnitt ermitteln (siehe Anlage 13, Tabelle A13-28).

Die Investitionsmehrkosten für den Querschnitt mit einer befestigten Breite von 12,0 m können nun mit den Nutzen, die sich aufgrund des breiteren Querschnittes im Betrachtungszeitraum ergeben, verglichen werden. Dabei fällt auf, dass die Nutzen bei Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24h bei Breiten von 10,5 m und 11,0 m und bei Breiten von 10,0 m ab einer Verkehrsstärke ab 50.000 Kfz/24h meist über den Investitionsmehrkosten liegen. Das heißt unter diesen Randbedingungen werden durch den breiteren Querschnitt gegenüber einem schmaleren Querschnitt Kosten (im wesentlichen Unfallkosten, Betriebskosten und Zeitkosten) in einem Umfang vermieden, der es gerechtfertigt hätte, zum Zeitpunkt des Neubaus der Straße statt eines Querschnitts mit 10,0 m, 10,5 m oder 11,0 m Breite der befestigten Fläche einen Querschnitt mit 12,0 m befestigter Fahrbahnbreite zu bauen.

Gegenüber einem Querschnitt mit einer befestigten Fahrbahnbreite von 11,5 m weist der breitere Querschnitt nur bei Verkehrsstärken von 70.000 Kfz/24h Nutzen auf, welche die Investitionsmehrkosten übersteigen. Berücksichtigt man bei dem Querschnitt mit 11,5 m Breite die Effekte, die bei einer möglichen Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h im Falle der Durchführung von V4.5 auftreten, steigen die Nutzen, die der breitere Querschnitt demgegenüber aufweist, an. Dies hat zur Folge, dass die Investitionsmehrkosten bereits einer Verkehrsstärke von ca. 40.000 – 50.000 Kfz/24h von den Nutzen aufgewogen werden.

Zu den obigen Vergleichen ist anzumerken, dass die hier genannten Nutzen lediglich aus dem 30-jährigen Betrachtungszeitraum mit Beginn einer grundhaften Erneuerung des Querschnitts, also etwa 30 Jahre nach dem Neubau der Straße, resultieren. Die Nutzen welche im Zeitraum vom Neubau der Straße bis zum Zeitpunkt der ersten

grundhaften Erneuerung durch den breiteren Querschnitt im Vergleich zu einem schmaleren Querschnitt entstehen, wurden hierbei noch nicht berücksichtigt. Das heißt es ist davon auszugehen, dass die Nutzen insbesondere durch die positiven Effekte im Zusammenhang mit Arbeitsstellen kürzerer Dauer höher liegen als in Tabelle 13-27, Anlage 13 angegeben.

Aber auch durch diese nur teilweise Berücksichtigung der Nutzen wird deutlich, dass vierstreifige Querschnitte mit Breiten der befestigten Fläche je Fahrtrichtung von 11,0 m oder weniger bei Verkehrsstärken von mehr als 30.000 Kfz/24h im Vergleich zu einem Querschnitt mit 12,0 m Breite der befestigten Fläche volkswirtschaftlich nicht zu begründen sind.

5.7 Einsatzempfehlungen

Für die einzelnen Breiten können die in Bild 5-2 zusammengestellten Einsatzempfehlungen gegeben werden. Angegeben ist jeweils die aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvollste Variante und in Klammern die zweitbeste Variante. In den Fällen, in denen keine eindeutige Empfehlung gegeben werden kann, sind die beiden möglichen Varianten aufgeführt. Kann oder soll die jeweils volkswirtschaftlich sinnvollste Variante nicht umgesetzt werden, weil beispielsweise eine Verbreiterung der Fahrbahn im Vorfeld der Baumaßnahmen nicht oder nur unter erheblich höherem finanziellen Aufwand möglich ist (vgl. Kapitel 5.4), sollte die jeweils zweitbeste Variante umgesetzt werden. Bei einer Vielzahl von Varianten kann keine eindeutige Empfehlung für eine Variante abgegeben werden. Hier ist auf Grundlage genauerer, fallspezifischer Eingangsgrößen und unter Beachtung der in Kapitel 5.3, 5.4 und 5.5 beschriebenen Zusammenhänge eine Einzelfallbetrachtung erforderlich. Für den Verkehrsstärkebereich von 30.000 bis 40.000 Kfz/24h wird davon ausgegangen, dass eine Verkehrsführung 3s+0 aufgrund ihrer geringen Kapazität nicht eingesetzt werden kann. Im Einzelfall kann, wie in Kapitel 5.4 gezeigt, eine Überprüfung jedoch sinnvoll sein.

| Breite d. befest. Fläche | Baukosten | Arbeits- stellendauer | Verkehrsstärke [Kfz/24h] | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 | 60000 | 70000 |
| 10,0 m | hoch | 150 | V1.1 (V1.2) | V1.1 (V1.3) | V1.2 /V1.3* | | V1.3 (V1.2) | |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V1.1 (V1.2) | | V1.2/V1.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V1.1 (V1.2) | | V1.1/V1.2* | | V1.2/V1.3* | |
| | | | | | | | | |
| | mittel | 150 | V1.1 (V1.2) | | V1.2 /V1.3* | | | |
| | | | | | | | V1.3 (V1.2) | |
| | | 100 | V1.1 (V1.2) | | V1.2/V1.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V1.1 (V1.2) | | V1.1/V1.2* | | V1.2/V1.3* | |
| | | | | | | | | |
| | niedrig | 150 | V1.1 (V1.2) | | V1.2 /V1.3* | | V1.3 (V1.2) | V1.2/V1.3* |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V1.1 (V1.2) | | V1.2/V1.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V1.1 (V1.2) | | V1.2 (V1.1) | | V1.2/V1.3* | |
| | | | | | | | | |
| 10,5 m | hoch | 150 | V2.1 (V2.3) | | V2.3 (V2.2) | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V2.1 (V2.2) | V2.1 (V2.3) | V2.2 /V2.3* | | V2.3 (V2.2) | V2.2/V2.3* |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V2.1 (V2.2) | | V2.1/V2.2* | | V2.2/V2.3* | |
| | | | | | | | | |
| | mittel | 150 | V2.1 (V2.2) | V2.1 (V2.3) | V2.2/V2.3* | V2.3 (V2.2) | | |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V2.1 (V2.2) | | V2.2/V2.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V2.1 (V2.2) | | V2.1/V2.2* | | V2.2/V2.3* | |
| | | | | | | | | |
| | niedrig | 150 | V2.1 (V2.2) | V2.1 (V2.3) | V2.2/V2.3* | | V2.3 (V2.2) | |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V2.1 (V2.2) | | V2.2/V2.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V2.1 (V2.2) | | V2.2 (V2.1) | | V2.2/V2.3* | |
| | | | | | | | | |
| 11,0 m | hoch | 150 | V3.1 (V3.3) | | V3.3 (V3.2) | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V3.1 (V3.3) | | V3.3 (V3.2) | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V3.1 (V3.2) | | V3.2/V3.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| | mittel | 150 | V3.1 (V3.3) | | V3.3 (V3.2) | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V3.1 (V3.2) | V3.1 (V3.3) | V3.2/V3.3* | | V3.3 (V3.2) | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V3.1 (V3.2) | | V3.2 /V3.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| | niedrig | 150 | V3.1 (V3.2) | V3.1 (V3.3) | V3.3 (V3.2) | | | |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V3.1 (V3.2) | V3.1 (V3.3) | V3.2/V3.3* | | V3.3 (V3.2) | V3.2/V3.3* |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V3.1 (V3.2) | | V3.2 /V3.3* | | | |
| | | | | | | | | |
| 11,5 m | hoch, mittel, niedrig | 150 | V4.5 (V4.1) | | V4.3 /V4.5* | | | V4.3 (V4.5) |
| | | | | | | | | |
| | | 100 | V4.5 (V4.1) | | V4.5 (V4.3) | | V4.3 /V4.5* | |
| | | | | | | | | |
| | | 50 | V4.5 (V4.1) | | V4.5 (V4.4) | | | V4.4 /V4.5* |
| | | | | | | | | |

Bild 5-2: Einsatzempfehlungen für die untersuchten Varianten, Erläuterung: Vorzugsvariante (Klammerwerte zweitbeste Variante, Alternative), *) Keine Vorzugsvariante, Einzelfallbetrachtung empfohlen

5.8. Alternative Ziele als Auswahlkriterium

5.8.1 Wahl der alternativen Ziele

Neben den in Kapitel 4 vorgestellten Maßstäben zur Auswahl der Vorzugsvarianten – Minimierung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten und Realisierung eines möglichst hohen Nutzen-Kosten-Verhältnisses auf Basis einer gesamtvolkswirtschaftlichen Betrachtung – sind auch andere Kriterien zur Wahl der Vorzugsvariante denkbar. Diese können beispielsweise aus politischen Vorgaben resultieren. Nachfolgend sollen daher für die vier untersuchten Breiten anhand von drei alternativen Zielvorgaben Vorzugsvarianten ermittelt werden.

Die Auswahl der drei alternativen Zielvorgaben orientiert sich an aktuellen, gesellschaftlich-politischen Zielen. Es sind dies:

- die Minimierung der Ausgaben auf Seiten des Straßenbaulastträgers,
- die Erhöhung der Verkehrssicherheit und
- die Verringerung der nutzerseitigen Kosten (Reisezeiten und Betriebskosten) durch Verminderung der arbeitsstellenbedingten Verkehrsbehinderungen.

Die Ermittlung der jeweiligen Kosten erfolgte dabei auf den in Kapitel 4 dargestellten Berechnungsansätzen.

Entsprechend den drei alternativen Zielvorgaben ist die Variante zu wählen, die

- die geringsten Baulastträgerkosten aufweist,
- die geringsten Unfallkosten aufweist oder
- die geringsten nutzerseitigen Kosten aufweist.

Nachfolgend werden für jedes dieser drei Bewertungskriterien und für jede untersuchte Breite der befestigten Fläche die jeweils maßgeblichen Kosten angegeben und die jeweilige Vorzugsvariante benannt.

Für die Bewertungskriterien Unfallkosten und Nutzerseitige Kosten wird darüber hinaus betrachtet, ob der Einsatz der jeweiligen Vorzugsvariante gegenüber der Variante mit den geringsten Baulastträgerkosten volkswirtschaftlich sinnvoll ist. Dieser Vergleich erfolgt durch die Bildung eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses.

5.8.2 Auswahlkriterium Baulastträgerkosten

Als Baulastträgerkosten werden nachfolgend die Kosten bezeichnet, die sich aus Investitionskosten und laufenden Kosten z. B. für die Behelfsverkehrsführungen zusammensetzen.

Ein wesentliches politisches Ziel ist es, die Ausgaben in den jeweiligen Haushalten zu senken oder mit gleichbleibenden Geldmitteln mehr Projekte durchzuführen. Daraus kann sich in der Folge die Notwendigkeit ergeben, bei Straßenbaumaßnahmen auch die baulastträgerseitigen Kosten pro Einzelprojekt zu senken. Demnach wäre bei mehreren möglichen Varianten die Variante zu bevorzugen, welche die geringsten straßenbaulastträgerseitigen Kosten aufweist.

Befestigte Breite 10,0 m bis 11,0 m

Wie in Anlage 13, Bild A13-24 bis A13-26 zu sehen ist, sind die Baulastträgerkosten für VX.3 unabhängig vom gewählten Baukostenansatz die jeweils höchsten. Dies ist Folge der bei VX.3 anfallenden zusätzlichen Investitionskosten für die Fahrbahnverbreiterung. Die niedrigsten Baulastträgerkosten weist Variante VX.1 auf. Demgegenüber hat VX.2 etwa 5 % höhere Baulastträgerkosten, die sich aus den nachteiligen Wirkungen der Verkehrsführung 3s+1 auf Bauzeit und insbesondere Baukosten ergeben.

Befestigte Breite 11,5 m

Wie in Anlage 13, Bild A13-27 zu sehen ist, sind die Baulastträgerkosten für V4.3 unabhängig vom gewählten Baukostenansatz die jeweils höchsten. Dies ist Folge der bei V4.3 anfallenden zusätzlichen Investitionskosten für die Fahrbahnverbreiterung. Die niedrigsten Baulastträgerkosten weist Variante V4.4 auf. Demgegenüber hat V4.1 als Variante mit den zweitniedrigsten Baulastträgerkosten etwa 0,5 % höhere Baulastträgerkosten. Im Vergleich zu V4.1 weist V4.5 nur geringfügig (4.000 – 6.000 €) höhere Baulastträgerkosten auf.

Vorzugsvariante bei Berücksichtigung der Straßenbaulastträgerkosten

Bei Breiten von 10,0 m, 10,5 m und 11,0 m sind die Varianten mit Verkehrsführung 3s+0 (V1.1, V2.1 und V3.1) diejenigen, welche die geringsten Baulastträgerkosten aufweisen. Bei einer Breite von 11,5 m ist es hingegen V4.4 (4s+0 Verkehrsführung und Gegenverkehrstrennung mittels Markierung).

Sollten die Straßenbaulastträgerkosten das alleinige Kriterium für die Wahl der Behelfsverkehrsführung sein, dann sollten die o.g. Varianten bevorzugt umgesetzt werden, da sich bei der Realisierung dieser Varianten gegenüber den anderen untersuchten Varianten entsprechende Einsparungen bei den baulastträgerseitigen Kosten ergeben. Diesen Vorteilen stehen jedoch, wie in Abschnitt 5.2 gesehen, Nachteile der Variante hinsichtlich Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf entgegen, welche dann in Kauf genommen werden müssten.

5.8.3 Auswahlkriterium: Verkehrssicherheit

Die Erhöhung der Verkehrssicherheit ist sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene seit vielen Jahren ein erklärtes politisches Ziel. Beispielhaft hierfür sind die Aussagen die z. B. im „Programm für mehr Sicherheit im Straßenverkehr“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen aus dem Februar 2001 [BMVBW 2001] oder im Weißbuch der Europäischen Kommission zum Thema Verkehr [EUROPÄISCHE KOMMISSION 2001] aus dem Jahr 2001 zur Erhöhung der Verkehrssicherheit gemacht wurden.

Eine Möglichkeit die Verkehrssicherheit zu erhöhen besteht auch in der Verbesserung der Verkehrssicherheit in Autobahnarbeitsstellen. Setzt man daher nicht die Baulastträgerkosten sondern die Unfallkosten als Entscheidungskriterium an, ergibt sich eine veränderte Reihung der Varianten. Hierbei ist zu beachten, dass ausschließlich Unfallkosten in die Betrachtung eingehen. Darüber hinaus auftretende Auswirkungen der Erhöhung der Verkehrssicherheit, z. B. die Vermeidung von Staus infolge von Unfällen, werden hier nicht berücksichtigt. Für die Berücksichtigung solcher Effekte steht zurzeit kein erprobtes Verfahren zur Verfügung.

Befestigte Breite 10,0 m bis 11,0 m

Unabhängig von der Verkehrsstärke weist VX.3 die geringsten Unfallkosten auf, sie ist daher als verkehrssicherste der drei betrachteten Varianten anzusehen (siehe Anlage 13, Bild A13-28 bis A13-30). VX.2 und VX.1 weisen infolge einer höheren Unfallkostenrate der jeweiligen Behelfsverkehrsführungen auch insgesamt höhere Unfallkosten auf. Aus Sicht der Verkehrssicherheit wäre demnach VX.3 als Vorzugsvariante umzusetzen.

Hieraus ergibt sich nachfolgend die Frage, mit welchem Mehraufwand auf Seiten der Straßenbaulast diese höhere Verkehrssicherheit verbunden ist. Hierzu wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, bei der die jeweils aus Sicht der Verkehrssicherheit beste Variante (hier: VX.3) der aus Sicht des Straßenbaulastträgers günstigsten Variante (hier: VX.1) gegenübergestellt wurde (Anlage 13, Tabelle A13-29 bis A13-31). Die Betrachtung der berechneten Nutzen und Kosten zeigt, dass die straßenbaulastseitigen Mehrkosten die aus der Erhöhung der Verkehrssicherheit zu erwartenden Nutzen bei weitem übersteigen. Demnach sind die ermittelten NKV deutlich kleiner als 1,0. Somit lässt sich die Wahl einer mit höheren straßenbaulastseitigen Kosten verbundenen Variante zur Erhöhung der Verkehrssicherheit volkswirtschaftlich nicht allein mit den Nutzen aus der Erhöhung der Verkehrssicherheit begründen.

Befestigte Breite 11,5 m

V4.5 weist unabhängig von der Verkehrsstärke die geringsten Unfallkosten auf, sie ist daher als verkehrssicherste der hier betrachteten Varianten anzusehen (siehe Anlage 13, Bild A13-31). Mit nur geringfügig höheren Unfallkosten von 6.000 bis 20.000 € ist V4.3 aus Sicht der Verkehrssicherheit die zweitbeste Lösung. Die bei V4.3 gegenüber V4.5 höheren Unfallkosten resultieren aus den Unfällen infolge der zusätzlich erforderlichen Arbeitsstelle für die Fahrbahnverbreiterung. Aus Sicht der Verkehrssicherheit wäre demnach V4.5 als Vorzugsvariante umzusetzen.

Aus dem Vergleich der aus Sicht der Verkehrssicherheit besten Varianten (hier: V4.5) mit der aus Sicht des Straßenbaulastträgers günstigsten Variante (hier: V4.4) ergibt sich, dass die aus der Erhöhung der Verkehrssicherheit zu erwartenden Nutzen die straßenbaulastseitigen Mehrkosten bei weitem übersteigen (Anlage 13, Tabelle A13-32). Demnach sind die ermittelten NKV deutlich größer als 1,0. Somit lässt

sich die Wahl einer mit höheren straßenbaulastseitigen Kosten verbundenen Variante zur Erhöhung der Verkehrssicherheit volkswirtschaftlich allein mit den Nutzen aus der Erhöhung der Verkehrssicherheit begründen.

Vorzugsvariante bei Berücksichtigung der Verkehrssicherheit

Bei Breiten von 10,0 m, 10,5 m und 11,0 m sind die Varianten, die ein Querschnittsverbreiterung sowie eine Verkehrsführung 4s+0 vorsehen (V1.3, V2.3 und V3.3), diejenigen, welche die geringsten Unfallkosten und damit die höchste Verkehrssicherheit aufweisen. Bei 11,5 m Breite der befestigten Fläche ist es mit V4.5 die Variante, bei der die Mindestfahrstreifenbreiten der RSA 95 [BMVBW 1995] geringfügig unterschritten werden.

Sollte bei der Wahl der Verkehrsführung allein die Verkehrssicherheit das ausschlaggebende Kriterium sein, wären diese Varianten als Vorzugslösungen umzusetzen. Diese Lösungen weisen jedoch ausnahmslos höhere Baulastträgerkosten als die Variante mit den jeweils geringsten Baulastträgerkosten auf. Die höheren Baulastträgerkosten können allein bei einer Breite von 11,5 m durch die vermiedenen Unfallkosten aufgewogen werden. In den anderen Fällen sind die straßenbaulastträgerseitigen Mehrkosten so groß, dass sie nicht allein durch die Vermeidung von Unfallkosten aufgewogen werden.

5.8.4 Auswahlkriterium: nutzerseitige Kosten

Neben der Erhöhung der Verkehrssicherheit ist die Verminderung von Reisezeitverlusten ein weiteres politisches Ziel. Dies spiegelt sich beispielsweise in politischen Rahmenplanungen wie z. B. dem „Investitionsrahmenplan bis 2010 für die Verkehrsinfrastruktur des Bundes“ [BMVBS 2007] oder in Forschungsprojekten des Bundes wie z.B. FE 09.138 „Verfahren zur Minimierung der baustellenbedingten Nutzerkosten für das Pavement Management System (PMS)“ [HELLMANN/RÜBENSAM, 2007] wider.

Demnach kann sich die Wahl der Vorzugsvariante auch an der Minimierung der Reisezeiten orientieren. Bei den hier betrachteten Varianten werden die Reisezeiten vor allem durch die jeweiligen Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit sowie der Kapazität und der Dauer der baustellenbedingten Behelfsverkehrsführung beeinflusst. In dieser Untersuchung wurde der Focus allerdings nicht allein auf die Reisezeiten gelegt. Es wurden vielmehr auch die Bereiche berücksichtigt, die ebenfalls von dem Verkehrsablauf beeinflusst werden und die dem Straßennutzer direkt als Kosten anfallen (Betriebskosten). Die sich aus den Reisezeiten und den Betriebskosten ergebenden Kosten werden nachfolgend als nutzerseitige Kosten bezeichnet.

Befestigte Breite 10,0 m bis 11,0 m

Es zeigt sich, dass unabhängig von der Verkehrsstärke immer VX.3 die Varianten mit den geringsten nutzerseitigen Kosten ist (siehe Anlage 13, Bild A13-32 bis A13-34). Danach folgt bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h Variante VX.1 und bei höheren Verkehrsstärken VX.2.

Beim Vergleich der Variante mit den niedrigsten nutzerseitigen Kosten (VX.3) mit der Variante mit den geringsten baulastträgerseitigen Kosten (VX.1) zeigt sich ab einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h in nahezu jedem Fall, dass die Mehrkosten, die VX.3 gegenüber VX.1 aufweist, durch die erzielbaren Nutzen, die VX.3 im Hinblick auf den Verkehrsablauf aufweist, mehr als aufgewogen werden (Anlage 13, Tabelle A13-33 bis A13-35). Somit ist in diesen Fällen das $NKV > 1,0$. Ab einer Verkehrsstärke von 40.000 Kfz/24h lässt sich somit die Variante VX.3 allein aus Gründen der Minimierung der nutzerseitigen Kosten gegenüber den baulastträgerseitigen Mehrkosten volkswirtschaftlich begründen. Bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h sind die Nutzen, die aus VX.3 beim Vergleich mit VX.1 resultieren, zu gering um die höheren Baulastträgerkosten aufzuwiegen. In diesen Fällen ist demnach VX.1 die volkswirtschaftlich bessere Lösung.

Befestigte Breite 11,5 m

Bei Verkehrsstärken von 20.000 bis 50.000 Kfz/24h weist immer V4.5 die geringsten nutzerseitigen Kosten auf (siehe Anlage 13, Bild A13-35). Der Abstand zum zweitplatzierten Variante V4.3 liegt nur bei 6.000 bis 14.000 €. Ab einer Verkehrsstärke von 60.000 Kfz/24h drehen sich die Verhältnisse, so dass V4.3 deutlich geringere nutzerseitige Kosten aufweist als V4.5.

Beim Vergleich der Variante mit den niedrigsten nutzerseitigen Kosten (V4.5 bzw. V4.3) mit der Variante mit den geringsten baulastträgerseitigen Kosten (V4.4) zeigt sich, dass die Mehrkosten, die V4.5 gegenüber V4.4 aufweist, durch die erzielbaren Nutzen, die V4.5 im Hinblick auf den Verkehrsablauf aufweist, mehr als aufgewogen werden (Anlage 13, Tabelle A13-36). Somit ist in diesen Fällen das $NKV > 1,0$. Bei Verkehrsstärken ab 60.000 ist bei dem Vergleich V4.3 mit V4.4 nicht in jedem Fall gegeben, dass die Nutzen höher sind als die Kosten. Insbesondere bei kurzen Arbeitsstellendauern übersteigen die Kosten den erzielbaren Nutzen.

Vorzugsvariante bei Berücksichtigung der nutzerseitigen Kosten

Bei Breiten von 10,0 m, 10,5 m und 11,0 m sind die Varianten die eine Querschnittsverbereitung sowie eine Verkehrsführung 4s+0 vorsehen (V1.3, V2.3 und V3.3) diejenigen, welche die geringsten nutzerseitigen Kosten aufweisen. Bei 11,5 m Breite der befestigten Fläche ist es bei Verkehrsstärken von 20.000 bis 50.000 Kfz/24 h mit V4.5 die Variante, bei der die Mindestfahrstreifenbreiten der RSA geringfügig unterschritten werden. Bei Verkehrsstärken von 60.000 und 70.000 Kfz/24h weist V4.3 die geringsten nutzerseitigen Kosten auf.

Sollten bei der Wahl der Verkehrsführung allein die nutzerseitigen Kosten das ausschlaggebende Kriterium sein, wären diese Varianten als Vorzugslösungen umzuset-

zen. Diese Lösungen weisen jedoch ausnahmslos höhere Baulastträgerkosten als die Variante mit den jeweils geringsten Baulastträgerkosten auf. Die höheren Baulastträgerkosten werden bei Verkehrsstärken ab 40.000 Kfz/24h im Normalfall durch die geringeren nutzerseitigen Kosten aufgewogen. Bei Verkehrsstärken von 20.000 und 30.000 Kfz/24h sowie bei Arbeitsstellendauern von 50 Tagen zum Teil auch bei höheren Verkehrsstärken können die baulastträgerseitigen Mehrkosten durch die vermiedenen nutzerseitigen Kosten nicht immer aufgewogen werden.

5.8.5 Fazit der alternativen Bewertungsmethodik

Die Auswahl von Vorzugsvarianten anhand von drei alternativen Bewertungskriterien, welche jeweils nur einen Teilaspekt der in Kapitel 4 behandelten Bewertungsmethodik umfassen, hat gezeigt, dass:

- sich bei Verwendung von Verkehrssicherheit oder nutzerseitigen Kosten als Bewertungskriterium in weiten Bereichen identische Vorzugsvarianten ergeben.
- sich bei Verwendung der straßenbaulastträgerseitigen Kosten ausnahmslos andere Vorzugsvarianten ergeben als bei Fokussierung auf Verkehrssicherheit oder nutzerseitige Kosten.
- die straßenbaulastträgerseitigen Mehrkosten bei Verkehrsstärken oberhalb von 30.000 Kfz/24 h in den meisten Fällen durch die vermiedenen nutzerseitigen Kosten ausgeglichen werden können.

Insgesamt bedeutet dies, dass ein Optimum des einen Kriteriums nicht mit dem Optimum der straßenbaulastträgerseitigen Kosten übereinstimmt. Aus diesem Grunde scheint es sinnvoll, unter Beachtung mehrerer Kriterien ein Gesamtoptimum zu finden. Eine solche kriterienübergreifende Beurteilung kann durch das in Kapitel 4 dargestellte Bewertungsverfahren erfolgen. Wie die in Kapitel 5.2 durchgeführten Berechnungen mit diesem Bewertungsverfahren gezeigt haben, ergeben sich hierbei allerdings häufig zwei Varianten, die hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlichen Nutzen und Kosten als annähernd gleich anzusehen sind. Die vorgestellte alternative Bewertungsmethodik, mit ausdrücklicher Berücksichtigung eines einzigen Kriteriums – den straßenbaulastträgerseitigen Kosten, der Verkehrssicherheit oder den nutzerseitigen Kosten – kann in den Fällen, in denen das in Kapitel 4 beschriebene Verfahren kein eindeutiges Ergebnis liefert, zur Entscheidungsfindung beitragen. Denn aus den zwei annähernd gleich zu bewertenden Varianten kann mittels der alternativen Bewertungsmethodik die Variante als Vorzugslösung gewählt werden, die, je nach den primären politischen Vorgaben, die geringsten straßenbaulastträgerseitigen Kosten, die höchste Verkehrssicherheit oder die geringsten nutzerseitigen Kosten aufweist.

6. Resümee

Zielstellung

Die Arbeit beschäftigt sich mit Arbeitsstellen längerer Dauer, die im Zuge von zweibahnig-vierstreifigen Autobahnen mit einer Breite der befestigten Fläche je Fahrtrichtung von 10,0 m bis 11,50 m durchgeführt werden.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, sinnvolle, in der Praxis angewandte Kombinationen aus Behelfsverkehrsführung, System der Fahrtrichtungstrennung und Fahrstreifenbreiten vergleichend zu bewerten. Zielstellung war dabei, den Ressourcenverbrauch, ausgedrückt durch die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten, möglichst gering zu gestalten.

Die Arbeit soll zum einen aufzeigen, ob für die vorliegende Fragestellung ein solcher volkswirtschaftlicher Vergleich möglich und sinnvoll ist, und welche der verglichenen Varianten zur Anwendung im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer an vierstreifigen Autobahnen empfohlen werden können. Bei diesen Empfehlungen sollten verschiedene Randbedingungen wie z. B. Baukosten und Verkehrsstärke Berücksichtigung finden.

Hierzu mussten zunächst die bestehende Zusammenhänge zwischen baulich-betrieblichen Randbedingungen, bestehenden Behelfsverkehrsführungen und verkehrlichen Aspekten analysiert, daraus resultierende Konflikte aufgezeigt und in der Praxis angewandte Lösungen beschrieben werden. Die beschriebenen Lösungsansätze sollten dann hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlich relevanten Wirkungen beschrieben und die Wirkungen quantifiziert werden.

Vorgehensweise

Zunächst wurden die Zusammenhänge zwischen baulichen Gegebenheiten (z. B. der Breite der befestigten Fläche), baulich-betrieblichen Erfordernissen (z. B. möglichst Sperrung einer kompletten Richtungsfahrbahn) und den Anforderungen der Behelfsverkehrsführung (z. B. keine Reduktion der Fahrstreifenanzahl, Einhaltung von Mindestfahrstreifenbreiten) dargestellt. Für die betrachteten Arbeitsstellen längerer Dauer stellt sich demnach eine vollständige Sperrung einer Richtungsfahrbahn, bei Beibehaltung der Fahrstreifenanzahl, Einhaltung der Mindestmaße nach RSA-95 [BMVBW 1995] und die Trennung der Fahrtrichtungen durch transportable Schutzeinrichtungen als Idealfall dar. Die bestehenden Konflikte zwischen diesem Idealfall und den bestehenden Randbedingungen wurden herausgearbeitet. Als maßgebliches Problem zeigt sich dabei, dass bei Breiten der befestigten Fläche von weniger als 11,50 m ohne größere bauliche Maßnahmen keine vollständige Sperrung einer Richtungsfahrbahn bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Zahl der Fahrstreifen möglich ist. Bei einer Breite von 11,50 m kann eine 4s+0 Verkehrsführung nur unter Verzicht auf eine bauliche Trennung der Fahrtrichtungen mit transportablen Schutzeinrichtungen oder nur durch Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten erfol-

gen. Für Breiten der befestigten Fläche von 10,0 m, 10,5 m, 11,0 m und 11,5 m wurden in der Praxis eingesetzte Lösungen als Varianten beschrieben und mögliche Wirkungen dieser Varianten in verkehrlicher, finanzieller und zeitlicher Sicht dargestellt.

Ein Hauptteil der Arbeit war nunmehr, die vermuteten Zusammenhänge und Wirkungen zunächst anhand einer Literaturanalyse zu überprüfen und zu quantifizieren. Schwerpunkt dieser Betrachtungen war das Unfallgeschehen und das Fahrerverhalten. Hierbei konnte auf die Ergebnisse und Ausarbeitung der Untersuchungen von FISCHER/BRANNOLTE (2006) und BARK/BRANNOLTE/FISCHER et. al. (2006) zurückgegriffen werden. Diese konnten zum Teil direkt übernommen werden, zum Teil mussten Ergänzungen und Weiterentwicklungen vorgenommen werden. So wurden im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit unter anderem für unterschiedliche Fahrstreifenbreiten und Fahrstreifenanordnungen auf Basis vorhandener Messdaten q-v-Diagramme ermittelt und aufgrund von vorliegenden Unfalldaten Unfallkostenraten für die unterschiedlichen Behelfsverkehrsführungen und Trennungssysteme berechnet bzw. abgeschätzt. Zur Abschätzung der Auswirkungen sehr geringer Fahrstreifenbreiten wurde die erforderliche Mindestbreite von Behelfsfahrstreifen aus Videoaufzeichnungen von Überholvorgängen in Arbeitsstellen abgeleitet.

Um die für eine bestimmte befestigte Breite möglichen Varianten miteinander zu vergleichen, wurde ein volkswirtschaftlicher Bewertungsansatz gewählt, der auf dem Verfahren der EWS 1997 [FGSV 1997] aufbaut. Wesentliche Änderungen gegenüber den EWS 1997 [FGSV 1997] lagen in der Änderung des Bewertungszeitraumes auf 30 Jahre, die Änderung der Abschreibungszeiträume, die Berechnung mit einem Preisstand 2000 und die Ermittlung von Verlustzeiten infolge Staubildung mit Hilfe der Software QuantAS [BECKMANN (2000) und OBER-SUNDERMEIER / OTTO (2003)].

Da für eine Vielzahl von Größen, die für den volkswirtschaftlichen Vergleich verschiedener Varianten notwendig sind, wie z. B. Arbeitsstellendauer, Höhe der Investitionskosten, Bauzeitverlängerung infolge Verkehrsführung 3s+1, Höhe der Unfallkostenraten, etc., keine exakten Werte angegeben werden konnten, wurden diese Größen im Berechnungsverfahren zum Zwecke einer Sensitivitätsbetrachtung variiert.

Zunächst wurden für alle Varianten die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten die sich im Bewertungszeitraum von 30 Jahren ergeben ermittelt. Diese gesamten volkswirtschaftlichen Kosten umfassen Investitionskosten, laufende Kosten, Betriebskosten, Kosten aus Fahrzeiten, Unfallkosten, Kosten aus Schadstoff- und Klimabelastung.

Die jeweils beiden Varianten mit den geringsten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten wurden dann über einen Nutzen-Kosten-Vergleich miteinander verglichen.

Alternativ zum oben beschriebenen Bewertungsverfahren wurden drei alternative Zielvorgaben entwickelt und diese als Auswahlkriterium für die jeweilige Vorzugsvariante verwendet. Ziele waren erstens geringe Baulastträgerkosten, zweitens eine hohe Verkehrssicherheit und drittens niedrige nutzerseitige Kosten aus Zeitkosten und Betriebskosten. Für jedes dieser drei Auswahlkriterien wurden Vorzugsvarianten ermittelt. Die Vorzugsvarianten der Auswahlkriterien „Verkehrssicherheit“ und „Nutzerseitige Kosten“ wurden ferner über einen Nutzen-Kosten-Vergleich mit den Va-

rianten verglichen, die jeweils die geringsten straßenbaulastträgerseitigen Kosten aufwiesen.

Ergebnisse

Folgende Ergebnisse hat die vorliegende Arbeit geliefert:

- Für den Vergleich verschiedener Behelfsverkehrsführungen wurde im Rahmen der Arbeit ein vorhandenes Verfahren (EWS 1997) [FGSV 1997] an die Aufgabenstellung angepasst und angewendet. Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass es möglich ist, verschiedene Kombinationen aus Behelfsverkehrsführung, System zur Fahrtrichtungstrennung und Fahrstreifenbreiten mittels des eingesetzten Verfahrens vergleichend zu bewerten.
- Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass ein Vergleich der jeweils möglichen Varianten sinnvoll ist, da zum Teil auch in der Praxis selten angewandte Varianten aus volkswirtschaftlicher Sicht zu bevorzugen sind.
- Für befestigte Breiten von 10,0 m, 10,5 m, 11,0 m und 11,5 m wurden aus den Berechnungsergebnissen für Verkehrsstärken von 20.000 bis 70.000 Kfz/24h Einsatzempfehlungen für die betrachteten Varianten abgeleitet. Dabei wurde die, aufgrund der Variation verschiedener Eingangsgrößen vorhandene Spannweite der Ergebnisse berücksichtigt. Weiter wurde für den Fall einer vorhergehenden Verbreiterung der Fahrbahn angegeben, welche Höhe der Investitionskosten zu einer Änderung des Ergebnisses führen würde.
- Insgesamt zeigt sich für Breiten von unter 11,50 m, dass bei Verkehrsstärken von bis zu 30.000 Kfz/24h unter den zugrundeliegenden Rahmenbedingungen eine Verkehrsführung 3s+0 volkswirtschaftlich am sinnvollsten ist. Bei höheren Verkehrsstärken gibt es sowohl Bereiche in denen eine Verkehrsführung 3s+1 und in denen eine Fahrbahnverbreiterung mit anschließender 4s+0 Verkehrsführung volkswirtschaftlich am sinnvollsten ist. Häufig liegen diese beiden Varianten allerdings so dicht beieinander, dass eine Einzelfallbetrachtung sinnvoll ist. Bei einer Breite von 11,50 m erweist sich die Variante mit Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten häufig als die volkswirtschaftlich sinnvollste. Zumindest dann, wenn die zulässige Höchstgeschwindigkeit aufgrund der geringen Fahrstreifenbreiten nicht von 80 km/h auf 60 km/h reduziert wird.
- Anhand von alternativen Zielvorgaben zeigte sich, dass Varianten, die eine hohe Verkehrssicherheit aufweisen, in der Regel auch niedrige nutzerseitige Kosten aufweisen. Zum anderen muss festgestellt werden, dass die Auswahl der Varianten allein anhand der Minimierung der Straßenbaulastträgerkosten zu Varianten führt, die höhere Unfallkosten und höhere nutzerseitige Kosten zur Folge haben.
- Die für die Berechnungen notwendigen Eingangsgrößen wie zum Beispiel q-v-Diagramme für verschiedene Verkehrsführungen und Unfallkostenraten für verschiedene Verkehrsführungen und Trennungssysteme für Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit konnten im Rahmen der Arbeit ermittelt oder zumindest sinnvoll abgeschätzt werden.

- Einige der für die Berechnung notwendige Eingangsgrößen, wie z. B. die Baukosten, die Arbeitsstellendauer oder die Unfallkostenraten bei Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten konnten nicht genau bestimmt werden, sie lassen sich zum Teil pauschal nur schwer abschätzen
- Die erforderliche Breite von Fahrstreifen wurde untersucht, eine Mindestfahrstreifenbreite definiert und die Auswirkungen im Falle einer Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreite abgeschätzt. Demnach sind die in den RSA-95 [BMVBW 1995] angegebenen Mindestfahrstreifenbreiten von 3,25 m bzw. 2,50 m für Überholvorgänge erforderlich, da das fahrerische Potenzial zur Korrektur von Abweichungen von der Fahrlinie dann offenbar ausgereizt ist. Eine Verminderung der Mindestfahrstreifenbreiten würde dazu führen, dass vermehrt einzelne Fahrer keine Überholungen mehr durchführen.

Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass der volkswirtschaftliche Vergleich verschiedener Verkehrsführungen im Zuge Arbeitsstellen längerer Dauer möglich und sinnvoll ist. Es zeigt sich, dass zum Teil selten praktizierte Lösungsansätze wie die Fahrbahnverbreiterung häufig als volkswirtschaftlich sinnvoll anzusehen sind und daher ein solcher volkswirtschaftlicher Vergleich im Vorfeld der Durchführung von grundhaften Erneuerungen an Autobahnen sinnvoll ist. Allerdings hat die Arbeit auch gezeigt, dass viele Eingangsgrößen wie Investitionskosten und Bauzeit nicht allgemeingültig abgeschätzt werden können und Wirkungen, wie z. B. der Einfluss der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten, auf das Fahrerverhalten wissenschaftlich noch nicht ausreichend untersucht sind. Daher sind zum einen Einzelfallbetrachtungen notwendig und zum anderen müssen bestimmte Zusammenhänge und Wirkungen forschungsseitig eingehender untersucht werden. Insbesondere folgende Zusammenhänge sollten Gegenstand weitergehender Untersuchungen sein:

- Auswirkungen unterschiedlicher Behelfsverkehrsführungen auf das Unfallgeschehen und das Fahrerverhalten
- Auswirkungen der Unterschreitung der Mindestfahrstreifenbreiten nach RSA-95 [BMVBW 1995] auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen
- Auswirkungen von weiteren verkehrlichen und nicht-verkehrlichen Randbedingungen, wie z. B. Schwerverkehrsanteil oder Längsneigung, auf Verkehrsablauf und Unfallgeschehen im Bereich von Behelfsverkehrsführungen
- Auswirkungen unterschiedlicher Behelfsverkehrsführungen auf den Bauablauf und daraus resultierend auf die erforderlichen Investitionskosten und die Arbeitsstellendauern
- Berücksichtigung der unfallbedingten Reisezeitverluste

Denkbar ist auch, die im Rahmen dieser Untersuchung bearbeitete Aufgabenstellung auf breitere, 6-streifige Autobahnquerschnitte anzuwenden. Auch hier kann es im Hinblick auf die Realisierung einer „+0“-Verkehrsführung möglicherweise sinnvoll

sein, sinnvolle Varianten, einschließlich bislang selten realisierten Lösungen, einer volkswirtschaftlichen Betrachtung zu unterziehen.

Ferner wird auch von Bedeutung sein, welche Möglichkeiten die zukünftige RAS-W bietet, um Behelfsverkehrsführungen volkswirtschaftlich zu vergleichen. Hier wird insbesondere auch von Interesse sein, wie zukünftig die, den Berechnungen zugrunde liegenden Verkehrsstärken bestimmt werden und in welcher Weise Reisezeitverluste infolge Stau Berücksichtigung finden.

7. Literaturverzeichnis

- ARNOLD, M. (2001)
Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 820, 2001
- BARK, A. / BRANNOLTE, U. / FISCHER, L. / KUTSCHERA, R. / VIEHMANN, I. (2006)
Volkswirtschaftlicher Nutzen neuer Autobahnquerschnitte;
Schlussbericht zum Projekt 18.0016/2005 des BMVBS, Darmstadt, 2006
- BECKEDAHL, H. (1987)
Zur Querunbenheitsentwicklung von Asphaltstraßen
Mitteilungen aus dem Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Fachgebiet Konstruktiver Straßenbau der Universität Hannover, 1987
- BECKER, H. / SCHMUCK, A. (1983)
Verkehrsablauf an Autobahnbaustellen.
Schriftenreihe Informationen – Verkehrsplanung und Straßenwesen,
Hochschule der Bundeswehr München, Heft 14, München, 1983
- BECKMANN, A. (2000)
Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen
Schlussbericht zum Forschungsprojekt 03.313/1998/IGB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2000
- BLAB, R (1995)
Berücksichtigung der Fahrspurverteilung bei der Oberbaubemessung
Serie: Straßenforschung; Heft 451
Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen im Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein, Wien 1995
- BRANNOLTE, U. / BARTH, H.-B. / SCHWARZMANN, R. / JUNKERS, W. / LIU, Y. / SIGTHORSSON, H. / STEIN, J. (1993)
Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Verkehrstechnik, Heft V5
Bergisch-Gladbach 1993
- BRANNOLTE / CERWENKA / DISCHINGER / EMDE / KLAMER / KÖPPEL / MEEWES / MEYER / MOOSMAYER / PISCHNER / PUSCHNER / ROMMERSKIRCHEN / VOSDELLEN / WALTHER / ZILLENBILLER (1997)
Kommentar – Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – Kommentar EWS, 1997
- BRILON, W. / DÖHLER, M. (1978)
Spurverhalten auf zweispurigen Landstraßen mit Gegenverkehr.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 3/1978, Bonn, 1978
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR (BMV 1991)
Bundesministerium für Verkehr,
Allgemeines Rundschreiben Straßenbau ARS 25/1991
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 1995)
Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen, RSA 95
Bundesministerium für Verkehr
Bonn 1995

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN /
 BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN (BMVBW 1996 a)
 Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen, RBAP 1996
 Bundesministerium für Verkehr/Bundesanstalt für Straßenwesen
 Bonn 1996
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 1996 b)
 Technische Lieferbedingungen für Betonschutzwand-Fertigteile (TL-Betonschutzwand-Fertigteile)
 Bundesministerium für Verkehr
 Bonn 1996
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 1997 a)
 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für
 Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen (ZTV-SA 1997)
 Bundesministerium für Verkehr,
 Bonn, 1997; ergänzt durch:
 Allgemeines Rundschreiben Straßenbau 18/1999
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 1997 b)
 Technische Lieferbedingungen für transportable Schutzeinrichtungen (TL-Schutzeinrichtungen)
 Bundesministerium für Verkehr
 Bonn 1997
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 1997 c)
 Technische Lieferbedingungen für Leitelemente (TL-Leitelemente)
 Bundesministerium für Verkehr
 Bonn 1997
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 1999)
 Allgemeines Rundschreiben Straßenbau ARS 18/1999
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 2001)
 Programm für mehr Sicherheit im Straßenverkehr, 2001
http://www.bmvbs.de/Verkehr/Strasse_1453/Verkehrssicherheits-programm.htm,
 Stand: 03.07.2006
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW 2003)
 Bundesverkehrswegeplan 2003 – Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethodik
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND STADTENTWICKLUNG (BMVBS 2006)
 Straßenbaubericht 2006
 Berlin, 2006
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU – UND STADTENTWICKLUNG (BMVBS 2007)
 Investitionsrahmenplan bis 2010 für die Verkehrsinfrastruktur des Bundes (IRP)
 Berlin, 2007
- BURGER, W. (1977)
 Spurverhalten von Kraftfahrzeugen auf zweispurigen Straßen mit Gegenverkehr bei unterschiedlichen Straßenzuständen und Querschnitten.
 In: Straße und Autobahn, 12/1977, Bonn, 1977
- DE HENAU, A. (1967)
 Analyse de circulation dans cadre du dimensionnement des chaussees
 in : La Technique Routiers, XII (4), 1967

- DER ELSNER, (2007)
Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen; Ausgabe 2007
Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt
- DIN-EN 1317
DIN-EN 1317: Rückhaltesysteme an Straßen
Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren
Teil 2: Schutzeinrichtungen; Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen.
Deutsches Institut für Normung, Berlin, Berlin, 1998
- DURTH, W. / KLOTZ, S. / STÖCKERT, R. (1999)
Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer ("Tagesbaustellen") auf Bundesautobahnen
Schlussbericht zum Forschungsauftrag 03.285/1995/FR des BMVBW
Darmstadt 1999
- ELLMERS, U. (1998)
Schutzeinrichtungen an Arbeitsstellen unter Berücksichtigung zukünftiger europäischer Anforderungen.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 6/1998, Bonn, 1998
- EMDE, W. / HAMESTER, H. (1983)
Unfallgeschehen an Autobahnbaustellen.
Informationen - Verkehrsplanung und Straßenwesen – Heft 14,
Hochschule der Bundeswehr München, München, 1983
- ENGELMANN, F. (2003)
Fahrstreifenreduktionen an Autobahnen. Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf
Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau Universität Hannover, Nr. 31; 2003
- EUROPÄISCHE KOMMISSION
Weißbuch der Europäischen Kommission: Die Europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft, 2001
http://ec.europa.eu/transport/white_paper/index_en.htm, Stand: 03.07.2006
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN (FGSV 1974)
Richtlinie für die Anlage von Landstraßen, Teil: Querschnitte; RAL-Q 1974,
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln, 1974
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN (FGSV 1981)
Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen: RAS-W 1981
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln, 1982
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN (FGSV 1982)
Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil Querschnitte: RAS-Q 1982
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln, 1982
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN (FGSV 1996)
Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil Querschnitte: RAS-Q 1996
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln, 1996

- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV 1997)
Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, EWS, Aktualisierung der RAS-W 86, Entwurf, Ausgabe 1997
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln 1997
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV 1998)
Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen; Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Ausgabe 1998.
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln, 1998
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV 2001 a)
Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RStO 2001
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln 2001
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV 2001 b)
Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS 2001.
Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.),
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln, 2001
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV 2001 c)
Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen, Ausgabe 2001
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen,
Köln, 2001
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV 2005)
Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, Entwurf 11/2005
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln, 2005
- FISCHER, L. / BRANNOLTE, U.
Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V142
Bergisch Gladbach, 2006
- FSV 1986
Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr
Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen, Teil Oberbaubemessung, RVS 3.63,
Ausgabe 1986
- GESAMTVERBAND DER DEUTSCHEN VERSICHERUNGSWIRTSCHAFT - GDV (1998)
Sicherung des Verkehrs auf Straßen (SVS) – Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1:
Führen und Auswerten von Unfalltypensteckkarten, 1998
Empfehlungen des Instituts für Straßenverkehr Köln (ISK) Nr. 12
Köln 1998
- GESAMTVERBAND DER DEUTSCHEN VERSICHERUNGSWIRTSCHAFT – GDV (2002)
Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten
Mitteilungen Nr. 40
Berlin 2002
- GÜLICH, H. A. (1994)
Vergleichende Bewertung der Verkehrsführungen an Autobahnbaustellen.
In: Straße und Autobahn, Heft 7/1994, Bonn, 1994

- GÜLICH, H. A. (1999)
Transportable Schutzeinrichtungen bei Straßenarbeiten.
In: Straße und Autobahn, 7/1999, Bonn, 1999
- HANKO, W. (1995)
Wie sicher können Autobahnbaustellen sein? Feste Baustellen von längerer Dauer auf Autobahnen. Tagungsband, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 1995
- HARLOW, W.A. / SUMMERSGILL, I. (1986)
The safety of traffic management systems at major road works on motorways. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part I, 1986
- HELLMANN, L. / RÜBENSAM, J. (2007)
FE 09.138: Erarbeitung eines Verfahrens zur Minimierung der baustellenbedingten Nutzerkosten für das Erhaltungsmanagement
in: Informationen – Forschung im Straßen- und Verkehrswesen, Teil Straßenbau und Straßenverkehrstechnik IV, 82. Lfg, 2007
- HÖHNSCHEID, K.-J. / KÖPPEL, W. / KRUPP, R. / MEEWES, V. (2002)
Kostensätze für die volkswirtschaftliche Bewertung von Straßenverkehrsunfällen – Preisstand 2000.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 2002
- HÖRBER, B. (1977)
Reduzierung der Autobahnquerschnitte
In : Straßen- und Tiefbau, Heft 11, 1977
- HÜLSEMAN, U. (2000)
Maßnahmenbewertung in der Straßenerhaltung unter Einbeziehung der "Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen" (EWS)
In: Straße und Autobahn, Heft 10, 2000
- JANSEN/PLATZ/HÜLSEMAN (2000)
Ermittlung des Einflusses spezieller räumlicher Gegebenheiten wie Topographie, Baugrund, Bebauungsdichte u. a. auf die Projektbewertung in der BVWP
Schlussbericht zum FE-Nr. 26.138/1998 des BMVBW, 2000
- KAYSER, H. J. / DERSE, K.-H. / KLEIN-HEßLING, M. (1991)
Die Integration des Schwerverkehrs in Steuerungsmodelle von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 613, Bonn 1991
- KELLERMANN, G. (1997)
Stau an Baustellen. Ein vereinfachtes Berechnungsverfahren
in: Straße und Autobahn, Heft 7, 1997
- KNOFLACHER, H. / SCHOPF, J. (1981)
Bestimmung der maßgebenden Fahrstreifenbreite für Autobahnen, Schnellstraßen und Bundesstraßen, insbesondere im Hinblick auf ihre Führung in Ballungsgebieten.
Straßenforschung, Heft 177, Wien, 1981
- KNOFLACHER, H. / GATTERER, G. (1981)
Der Einfluss seitlicher Hindernisse auf die Verkehrssicherheit. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Band 17, Wien, 1981
- KNOFLACHER, H./SCHRAMMEL, E. (1976)
Einfluss der Fahrbahnlängsmarkierung auf das Fahrverhalten der Fahrzeuglenker
in: ZVR 21. Jg., Heft 5, 1976

- KOCKELKE, W./ROSSBANDER, E. (1988)
Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten an Autobahnarbeitsstellen.
Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unfallforschung, Heft 186,
Bergisch Gladbach, 1986
- KRAUSE, S. / HAUSMANN, D. (1996)
Baustellen auf Autobahnen - eine besondere Herausforderung. Straßenverkehrstechnik, 7/1996,
Bonn, 1996
- KREBS, H. G. / KLÖCKNER, J. (1977)
Untersuchungen über Unfallraten in Abhängigkeit von Straßen- und Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften.
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223, Bonn, 1977
- KRUX, W. / DETERMANN, D. (1995)
Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 28,
Bergisch Gladbach, 1995
- LAFFONT, S. / NIERHOFF, G. / SCHMIDT, G. (2002)
Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000, Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Verkehrstechnik, Heft V99
Bergisch Gladbach 2002
- LAFFONT, S. / SCHMIDT, G. (1995)
Empfehlungen und Leitlinien zur Minderung von Stau und Unfallrisiko bei engen 1-streifigen Verkehrsführungen in Autobahnbaustellen der neuen Bundesländer, 2+0 und 1+1-Führung.
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 701, Bonn, 1995
- LAUBE, M. (2001)
Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen. Conference Paper, ETH Zürich, 2001
- LEMKE, K. (2006)
Sicherheitwirkung unterschiedlicher Regelquerschnitte auf BAB
Bundesanstalt für Straßenwesen, 2006 (unveröffentlicht)
- LENZ, K. H. / BURGER, W. (1975)
Spurverhalten von Kraftfahrzeugen auf einer zweispurigen Landstraße.
In: Straße und Autobahn, Heft 11/1975, Bonn, 1975
- LEUTZBACH, W. / MAIER, W. / DÖHLER, M. (1981)
Untersuchung des Spurverhaltens von Kraftfahrzeugen auf Landstraßen durch Verfolgungsfahrten.
In: Straße und Autobahn, Heft 8/1981, Bonn, 1981
- LÜCKE, H. / GERLACH, A. / DAVID, M. (1980)
Gesamtauswertung der Untersuchungen auf der Versuchsstrecke Hilpoltstein
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 306, 1980
- MANGOLD, M. / TRÄGER, K. / LINDENBACH, A. (1996)
Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Umfelddatenerfassung
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 729, 1996
- MITSCHE, M. (1995)
Dynamik des Kraftfahrzeuges, Band A: Antrieb und Bremsung, Band C: Fahrverhalten.
Springer Verlag, Berlin, 1995

- MÜLLER, F. / SELIGER, R. (1990)
 Untersuchung zur Wirkung unterschiedlicher Leiteinrichtungen als Fahrbahnverengung auf das Fahrverhalten vor BAB-Arbeitsstellen.
 In: Straße und Autobahn, Heft 10/1990, Bonn, 1990
- MSWV (2004)
 Schreiben des Ministeriums für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des Landes Brandenburg vom 27.07.2004 an die Bundesanstalt für Straßenwesen, unveröffentlicht
- OBER-SUNDERMEIER, A. / OTTO, J. (2003)
 Quantifizierung staubedingter Reisezeitverluste auf BAB – Störungsursache: Arbeitsstellen
 Schlussbericht zum FE 01.153/2000/CRB der Bundesanstalt für Straßenwesen, unveröffentlicht 2003
- OECD (1989)
 Verkehrsführung und Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen. Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Straßenbau,
 Bericht einer Arbeitsgruppe der OECD 1989, Bern, 1990
- OELLERS, F. (1976)
 Untersuchung über den Einfluss der Fahrstreifenbreite auf den Verkehrsablauf auf Richtungsfahrbahnen
 Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 211, 1996
- PETERSEN, G. (1988)
 Sicherheitsfragen und Maßnahmen bei der Ausführung von Unterhaltungsarbeiten.
 In: Straße und Verkehr 74, Heft 10/1988
- RESSEL, W. (1994)
 Untersuchungen zum Verkehrsablauf im Bereich der Leistungsfähigkeit an Baustellen auf Autobahnen. Schriftenreihe Informationen – Verkehrsplanung und Straßenwesen,
 Hochschule der Bundeswehr München, Heft 37, München, 1994
- RÜFFER, G. / BRAUN, W. (2001)
 Verkehrssicherheit auf der BAB A2 im Baustellenbereich zwischen Magdeburg-Rothensee und Marienborn.
 In: Straße und Autobahn, 2/2001, Bonn, 2001
- SCAZZIGA, I. (1976)
 Erhebungen über die Beanspruchung der Straßen durch schwere Motorwagen
 Serie: Mitteilung - Institut für Straßen-, Eisenbahn- und Felsbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich; Heft 32, 1976
- SCHÄFER, V. (2001)
 Schichtenverbund, Nähte, Anschlüsse, Randausbildung. Ausgabe Mai 2001
 Deutscher Asphaltverband e. V., Bonn
 Serie: Asphalt Leitfaden DAV, Bonn, 2001
- SCHÖNBORN, H. D./ SCHULTE, W. (1999)
 RSA Handbuch – Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Band 1: RSA mit Kommentar.
 Bonn, 1999
- STRAßENVERKEHRSORDNUNG (STVO)
 C. H. Beck Verlag, München, 2002
- WEINSPACH, K. (1988)
 Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf im Bereich von Baustellen auf Betriebsstrecken der Bundesautobahnen.
 In: Straße und Autobahn, 7/1988, Bonn 1988

ZIMMERMANN, M. / MORITZ, K. (2004)

Erhöhung des Schutzes von Straßenbetriebsdienstpersonal an Arbeitsstellen kürzerer Dauer
In: Straßenverkehrstechnik, 10/2004, Bonn 2004

8. Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------------|---|----------|
| Bild 1-1: | Verkehrsführungen mit Überleitung aus den Jahren 1999 – 2002, Anteile an der erfassten Gesamtstreckenlänge | Seite 2 |
| Bild 1-2: | Doppellinien aus Markierungsknöpfen und ggf. kleinen Sichtzeichen | Seite 2 |
| Bild 1-3: | Autobahnarbeitsstelle mit einer Verkehrsführung 4s+0 und einer Fahrtrichtungstrennung mittels Stahlschutzwand | Seite 2 |
| Bild 2-1: | Darstellung aller Verkehrsführungen in Autobahnarbeitsstellen, nach SCHÖNBORN/SCHULTE (1999) | Seite 7 |
| Bild 2-2: | Baustellenbereiche einer 4s+0 Verkehrsführung, aus EM-DE/HAMESTER (1983) | Seite 7 |
| Bild 2-3: | Prinzipskizzen Verkehrsführungen 4s+0 (links), 3s+1 (Mitte) und 3s+0 (rechts) | Seite 8 |
| Bild 2-4: | 2+0 Verkehrsführung mit Fahrtrichtungstrennung durch Markierung mit großen Sichtzeichen | Seite 8 |
| Bild 2-5: | Breitendefinitionen [nach SCHÖNBORN / SCHULTE 1999] | Seite 9 |
| Bild 2-6: | Trennstreifenbreite bei Einsatz einer Doppelmarkierung [SCHÖNBORN / SCHULTE 1999] | Seite 10 |
| Bild 2-7: | Trennstreifenbreite bei Einsatz von Markierungsnägeln [nach RSA 1995, BMVBW 1995] | Seite 10 |
| Bild 2-8: | 4s+0 Verkehrsführung mit Fahrtrichtungstrennung durch Leitschwelle (Foto: Klemmfix, Backnang) | Seite 11 |
| Bild 2-9: | 4s+0 Verkehrsführung mit Fahrtrichtungstrennung durch eine transportable Schutzeinrichtung aus Stahl (Stahlschutzwand) mit retroreflektierenden Elementen | Seite 11 |
| Bild 2-10: | Einsatzbereiche transportabler Schutzeinrichtungen aus ARS 18/1999 [BMVBW 1999] | Seite 12 |
| Bild 2-11: | Schemazeichnungen zur Definition der planungsrelevanten Breite [BMVBW 1997b] | Seite 13 |
| Bild 2-12: | Beispiel Systemquerschnitt STGW 4200 [Firma Berghaus, www.stahlschutzwaende.de , Stand: 07/2006] | Seite 14 |
| Bild 2-13: | Verkehrsführungen mit Überleitung aus den Jahren 1999 – 2002, Anteile an der erfassten Gesamtstreckenlänge | Seite 20 |
| Bild 2-14: | Anteil der eingesetzten Gegenverkehrstrennung an allen erfassten Arbeitsstellen | Seite 20 |

| | | |
|------------|--|----------|
| Bild 2-15: | Anteil der eingesetzten Gegenverkehrstrennung für verschiedene Verkehrsführungen an der erfassten Gesamtstreckenlänge, Daten aus den Jahren 1999 – 2002 | Seite 20 |
| Bild 2-16: | Häufigkeit verschiedener Verkehrsführungen in Abhängigkeit von der Arbeitsstellenlänge | Seite 21 |
| Bild 2-17: | Häufigkeit des Einsatzes verschiedener Trennungssysteme an Arbeitsstellen mit 4s+0 Verkehrsführung in Abhängigkeit von der Arbeitsstellenlänge | Seite 21 |
| Bild 2-18: | Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung bei Verkehrsführung 4s+0 mit Fahrtrichtungstrennung aus Stahlschutzwänden | Seite 21 |
| Bild 2-19: | Dauer von Arbeitsstellen an Bundesautobahnen mit der Verkehrsführung 3s+1 oder 4s+0, Art der Arbeitsstelle: E2 „großflächige Erneuerung des Oberbaus“ | Seite 24 |
| Bild 2-20: | Mittlere lokale Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke (entnommen: BECKER/SCHMUCK 1983) | Seite 36 |
| Bild 2-21: | mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite [nach OELLERS 1976] | Seite 39 |
| Bild 2-22: | Anteil der Verkehrsstärke auf dem rechten Fahrstreifen an der Gesamtverkehrsstärke [nach OELLERS 1976] | Seite 39 |
| Bild 2-23: | Anteil der Risikoabstände in Längsrichtung in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke auf dem rechten Fahrstreifen und der Fahrstreifenbreite [nach OELLERS 1976] | Seite 40 |
| Bild 2-24: | Seitliche Abstände bei Überholvorgängen zwischen Pkw und Lkw bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten [nach OELLERS 1976] | Seite 40 |
| Bild 2-25: | Unfallraten der 6 Messstrecken; Angabe der jeweiligen Fahrstreifenbreiten [nach OELLERS 1976] | Seite 41 |
| Bild 2-26: | Hauptunfallarten im Innenbereich der Arbeitsstelle [KOCKELKE/ROSSBANDER (1988)] | Seite 47 |
| Bild 2-27: | Abhängigkeit der mittleren momentanen Pkw-Geschwindigkeit vom Trennungssystem und den Fahrstreifenbreiten | Seite 52 |
| Bild 3-1: | Ermittlung der Mindestfahrstreifenbreiten nach OELLERS (1976) | Seite 60 |
| Bild 3-2: | Alternativer Ansatz zur Ermittlung der Mindestfahrstreifenbreiten | Seite 61 |
| Bild 3-3: | Häufigkeit der Abweichungen von der Ideallinie bei Überholvorgängen, hier Pkw, Breitenklasse 2, transportable Schutzeinrichtung | Seite 62 |
| Bild 3-4: | Häufigkeit der Fahrzeugabstände bei Überholvorgängen, hier Breitenklasse 2, transportable Schutzeinrichtung | Seite 62 |
| Bild 3-5: | Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit auf die mittleren Abweichungen von der Ideallinie (linkes Diagramm) und auf die mittleren seitlichen Abstände (rechtes Diagramm). | Seite 66 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| Bild 3-6: | Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke und dem Schwerverkehrsanteil für verschiedene Breitenklassen (Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet) | Seite 81 |
| Bild 3-7: | Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke und der Breitenklasse für verschiedene Schwerverkehrsanteile (Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet) | Seite 82 |
| Bild 3-8: | Anteil des linken Fahrstreifens an der Gesamtverkehrsstärke in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke, der Breitenklasse und dem Trennungssystem für verschiedene Schwerverkehrsanteile. TSE – transportable Schutteinrichtung (Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet) | Seite 83 |
| Bild 3-9: | mittlere Wunschgeschwindigkeiten freifahrender Fahrzeuge in den Messstrecken; Aufteilung nach der Fahrzeugart, des befahrenen Fahrstreifens und der Fahrstreifenbreite. Gesamtstichprobengröße $n = 6154$ Fahrzeuge | Seite 84 |
| Bild 3-10: | Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und mittlerer Fahrzeuggeschwindigkeit für verschiedene Untersuchungsfälle (Verkehrsstärken aus 5-Minuten-Intervallen hochgerechnet) | Seite 88 |
| Bild 3-11: | Beispielhafter Aufbau einer Straßenbefestigung (RStO 2001) | Seite 90 |
| Bild 3-12: | Faktoren zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreiten [nach FGSV 1986, BLAB 1995 und FGSV 2001a] | Seite 93 |
| Bild 3-13: | Lage der Fahrstreifen bei den Autobahnquerschnitten RQ 29,5 (oben) und RQ 26 (unten) bei Normal- und Behelfsverkehrsführung 4s+0 bzw. 3s+1 | Seite 93 |
| Bild 3-14: | Faktor f_{AS} zur Berücksichtigung zusätzlicher Belastungen auf den Straßenoberbau infolge Arbeitsstellen längerer Dauer | Seite 96 |
| Bild 5-1: | volkswirtschaftliche Gesamtkosten und mögliche Veränderung der Kosten durch Variation weiterer Einflussgrößen; befestigte Breite 10,0 m, mittlerer Baukostenansatz. | Seite 126 |
| Bild 5-2: | Einsatzempfehlungen für die untersuchten Varianten, Erläuterung: Vorzugsvariante (Klammerwerte zweitbeste Variante, Alternative), *) Keine Vorzugsvariante, Einzelfallbetrachtung empfohlen. | Seite 142 |

9. Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----------|
| Tabelle 1-1: | Fahrbahnbreiten im Netz der Bundesautobahnen, Stand 31.12.2002, [Der Elsner 2007] | Seite 3 |
| Tabelle 1-2: | Einsatzmöglichkeiten von Verkehrsführungen und Trennungssystemen (TSE = transportable Schutzeinrichtung; Mar = Markierung aus Nagelreihen bzw. Folien) in Abhängigkeit von der vorhandenen Breite der befestigten Fläche der Richtungsfahrbahn | Seite 3 |
| Tabelle 2-1: | Mindestfahrstreifenbreite nach RSA 1995 [BMVBW 1995] | Seite 8 |
| Tabelle 2-2: | Anforderungen an transportable Schutzeinrichtungen für Verkehrsführungen 3s+0, 3s+1 und 4s+0 nach ZTV-SA 1997 [BMVBW 1997a] | Seite 13 |
| Tabelle 2-3: | Mindestbreite der befestigten Fläche (Mindestfahrbahnbreiten im Sinne der RSA 95) für den Einsatz von Behelfsverkehrsführungen | Seite 15 |
| Tabelle 2-4: | Einsatzmöglichkeit verschiedener Verkehrsführungen bei Regelbreiten der befestigten Fläche | Seite 15 |
| Tabelle 2-5: | Mindestbreite von Behelfsfahrstreifen und Größe der seitlichen Bewegungsspielräume | Seite 18 |
| Tabelle 2-6: | Angaben der Straßenbauverwaltungen zur Dauer von Arbeitsstellen infolge Deckenerneuerung oder grundhafter Erneuerung bezogen auf eine Länge von 1 km (nach BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al., 2006) (¹ Dauer pro Arbeitsstelle; ² abgeleitete Dauer/km) | Seite 22 |
| Tabelle 2-7: | Angaben der Straßenbauverwaltungen zu Häufigkeit von Arbeitsstellen infolge Deckenerneuerung oder grundhafter Erneuerung. (nach BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al., 2006) | Seite 23 |
| Tabelle 2-8: | Betrachtete Varianten aus Verkehrsführung und Trennungssystem | Seite 28 |
| Tabelle 2-9: | Beurteilung von S_{Diff} im Hinblick auf die verkehrlichen Auswirkungen und die zu treffenden Maßnahmen, nach: RBAP 1996 [BMVBW 1996] | Seite 34 |
| Tabelle 2-10: | Grundwerte und Reduktionsfaktoren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit LFS eines Fahrstreifens an Baustellenengpässen (nach: RBAP 1996a) | Seite 34 |
| Tabelle 2-11: | Maximale Verkehrsstärken im Bereich von Autobahnarbeitsstellen, RESSEL (1994) | Seite 35 |
| Tabelle 2-12: | mittlere Fahrzeuggeschwindigkeiten im Bereich von Autobahnarbeitsstellen, nach BECKER/SCHMUCK (1983) P – Fahrzeuggruppe P: Pkw, Kombi, Krad GV – Fahrzeuggruppe GV: Lkw, Busse, Lieferwagen, Sattelzüge, Sonderfahrzeuge | Seite 36 |
| Tabelle 2-13: | Unfallraten nach KOCKELKE/ROSSBANDER (1988) | Seite 46 |
| Tabelle 2-14: | Unfallraten, nach EMDE/HAMESTER (1983) | Seite 47 |

| | | |
|---------------|--|----------|
| Tabelle 2-15: | Hauptunfallursachen im Baustellenbereich, nach RÜFFER/BRAUN (2001) | Seite 49 |
| Tabelle 2-16: | Statistik des Unfallgeschehens, nach RÜFFER/BRAUN (2001) | Seite 49 |
| Tabelle 2-17: | Datenbasis der Unfalluntersuchung | Seite 53 |
| Tabelle 2-18: | Unfallkostenraten für verschiedene Behelfsverkehrsführungen BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al. 2006) | Seite 54 |
| Tabelle 2-19: | Aufteilung und Abschreibung bestimmter Kostengruppen [FGSV, EWS 1997] | Seite 54 |
| Tabelle 2-20: | gewählte Ausgabenverteilung und Abschreibungszeiträume der Bauleistungen | Seite 55 |
| Tabelle 2-21: | Laufende Kosten für den Betrieb einer Arbeitsstelle längerer Dauer [Befragungsergebnisse] | Seite 57 |
| Tabelle 3-1: | Anzahl der ausgewerteten Überholvorgänge bzw. Messpunkte je Breitenklasse | Seite 63 |
| Tabelle 3-2: | seitliche Bewegungsspielräume bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten bzw. Breitenklassen | Seite 63 |
| Tabelle 3-3: | seitliche Abstände zur Schutzeinrichtung bzw. zur Leitlinie bei Pkw auf dem linken Fahrstreifen bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten bzw. Breitenklassen | Seite 64 |
| Tabelle 3-4: | seitliche Abstände zur Schutzeinrichtung bzw. zur Leitlinie bei Lkw/LZ auf dem rechten Fahrstreifen bei unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten bzw. Breitenklassen | Seite 65 |
| Tabelle 3-5: | seitliche Abstände zwischen Fahrzeugen auf dem linken (Pkw) und rechten (Lkw/LZ) Fahrstreifen bei unterschiedlichen Breitenklassen | Seite 65 |
| Tabelle 3-6: | rechnerische Mindestgesamtfahrstreifen für Behelfsverkehrsführungen in Abhängigkeit der Breitenklasse | Seite 67 |
| Tabelle 3-7: | Rechnerische Mindestfahrstreifenbreite des linken Fahrstreifens bei unterschiedlichen Breitenklassen und Fahrstreifenbreiten | Seite 67 |
| Tabelle 3-8: | Rechnerische Mindestfahrstreifenbreite des rechten Fahrstreifens bei unterschiedlichen Breitenklassen und Fahrstreifenbreiten | Seite 68 |
| Tabelle 3-9: | Unfalltypen nach Verkehrsführung, Trennungssystem und Breitenklasse (BKL): Mar – Fahrtrichtungstrennung durch Markierung, TSE – transportable Schutzeinrichtung | Seite 70 |
| Tabelle 3-10: | Unfallarten nach Verkehrsführung, Trennungssystem und Breitenklasse (BKL) | Seite 71 |
| Tabelle 3-11: | Faktor zur Berücksichtigung von Unfällen im Überleitungs-/Verschwenkungsbereichen bei Verkehrsführung 4s+0 | Seite 73 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| Tabelle 3-12: | Faktor zur Berücksichtigung von Unfällen im Bereich des separat liegenden Fahrstreifens bei der Verkehrsführung 3s+1 | Seite 73 |
| Tabelle 3-13: | Unfalldichte und Unfallrate für die betrachteten Verkehrsführungen | Seite 74 |
| Tabelle 3-14: | mittlere Unfallkosten aus pauschalen Unfallkostensätzen (mUK) und angepassten Unfallkostensätzen (mUKa) | Seite 75 |
| Tabelle 3-15: | Unfallkostendichte aus pauschalen (UKD) und angepassten (UK-Da) Unfallkostensätzen nach Verkehrsführung und Trennungssystem | Seite 76 |
| Tabelle 3-16: | Unfallkostenrate aus pauschalen (UKR) und angepassten (UKRa) Unfallkostensätzen nach Verkehrsführung und Trennungssystem | Seite 76 |
| Tabelle 3-17: | mittlere Unfallrate für Verkehrsführung 4s+0 und transportable Schutteinrichtung, Standardabweichung der mittleren Unfallrate und Anzahl der Unfälle nach Breitenklasse bzw. Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung | Seite 78 |
| Tabelle 3-18: | mittlere Unfallkostenrate für Verkehrsführung 4s+0 und transportable Schutteinrichtung, und Standardabweichung der mittleren Unfallkostenrate nach Breitenklasse bzw. Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung | Seite 79 |
| Tabelle 3-19: | mittlere Unfallschwer für Verkehrsführung 4s+0 und transportable Schutteinrichtung, nach Breitenklasse bzw. Gesamtfahrstreifenbreite je Fahrtrichtung | Seite 79 |
| Tabelle 3-20: | Leistungsfähigkeitsermittlung [gemäß RBAP 1996, BMVBW 1996a] | Seite 87 |
| Tabelle 3-21: | modifizierte Faktoren zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreiten [FGSV 1986], [BLAB 1995] | Seite 93 |
| Tabelle 4-1: | Im Rahmen der KANN untersuchte Varianten; Spalte Fahrstreifenbreiten: Angabe der Breite der einzelnen Fahrstreifen von links nach rechts in m und soweit vorhanden des 0,5m breiten Trennstreifens und eines 1,75m breiten Seitenstreifens, Abk: AS - Mittelstreifen. | Seite 98 |
| Tabelle 4-2: | Ansätze von Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen längerer Dauer für die Kosten- Nutzen- Analyse | Seite 101 |
| Tabelle 4-3: | gewählte Ausgabenverteilung und Abschreibungszeiträume der Bauleistungen | Seite 106 |
| Tabelle 4-4: | Investitionskosten für anfallende Baumaßnahmen alle 15 Jahre (Deckenerneuerung) und alle 30 Jahre (grundhafte Erneuerung) | Seite 106 |
| Tabelle 4-5: | Erhöhung der Investitionskosten (in Mio.€/km) für Deckenerneuerung und Grundhafte Erneuerung infolge einer Verkehrsführung 3s+1 gegenüber einer Verkehrsführung 2+0, 3+0 oder 4s+0 | Seite 107 |
| Tabelle 4-6: | Für die Berechnungen angesetzte laufende Kosten für den Betrieb einer Arbeitsstelle längerer Dauer | Seite 109 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| Tabelle 4-7: | Unfallkostenraten für die zu untersuchenden befestigten Breiten bei „Normalverkehrsführung“ | Seite 111 |
| Tabelle 4-8: | Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeiten, Zuordnung der Fälle nach Anhang 11 zu den untersuchten Fällen | Seite 112 |
| Tabelle 4-9: | Tägliche Reisezeitverluste infolge Staubildung auf Grund der Behelfsverkehrsführung im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer | Seite 114 |
| Tabelle 4-10: | Unfallkostenraten der betrachteten Varianten | Seite 115 |
| Tabelle 4-11: | Unfallkostenraten für Arbeitsstellen der Form $2n+2$ | Seite 116 |
| Tabelle 4-12: | Kraftstoffkosten (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997]) | Seite 117 |
| Tabelle 4-13: | Betriebskostengrundwerte (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997]) | Seite 117 |
| Tabelle 4-14: | Zeitkosten (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997]) | Seite 117 |
| Tabelle 4-15: | Kostensatz zur Bewertung der Schadstoffbelastung der Vegetation (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997]) | Seite 117 |
| Tabelle 4-16: | Kostensatz zur Bewertung der Klimabelastung (Preisstand 1995 entnommen [FGSV 1997]) | Seite 117 |
| Tabelle 5-1: | Art der Fahrstreifensperrung [nach Durth/Klotz/Stöckert (1999)] | Seite 132 |
| Tabelle 5-2: | Behelfsfahrstreifenbreite bei Seitenstreifenfreigabe | Seite 133 |
| Tabelle 5-3: | staubedingte jährliche Reisezeitverluste infolge Arbeitsstellen kürzerer Dauer [BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al. 2006] | Seite 134 |
| Tabelle 5-4: | Ansätze von Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen kürzerer Dauer für die Kosten- Nutzen- Analyse [BARK/BRANNOLTE/FISCHER et al. 2006] | Seite 135 |
| Tabelle 5-5: | Ansätze von Häufigkeit und Dauer von Arbeitsstellen kürzerer Dauer für die Kosten- Nutzen- Analyse | Seite 135 |
| Tabelle 5-6: | Einfluss der Bauzeit für Querschnittsverbreiterung auf die Gesamtkosten | Seite 137 |

10. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----|---|
| AkD | Arbeitsstelle kürzerer Dauer |
| AID | Arbeitsstelle längerer Dauer |
| BKL | Breitenklasse |
| FS | Fahrstreifen |
| LZ | Lastzug |
| Mar | Trennung mittels Doppelreihe aus Markierungsknöpfen oder Doppellinienmarkierung ggfs. mit Sichtzeichen |
| RSA | Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen [BMVBW 1995] |
| SE | Schutzeinrichtung |
| TSE | Transportable Schutzeinrichtung |
| U | U – Anzahl der Unfälle |
| UD | Unfalldichte [U/km] |
| UKD | Unfallkostendichte [$\text{€}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$] |
| UR | Unfallrate [$\text{U}/(10^6 \text{ Kfz} \cdot \text{km})$] |
| UKR | Unfallkostenrate [$\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$] |

Verzeichnis der Anlagen:

| | | |
|------------|---|----------|
| Anlage 1: | Systemskizzen der untersuchten Varianten | Seite 1 |
| Anlage 2: | Teil A: Wirkungsgefüge; Zusammenhänge zwischen Breite der befestigten Fläche, Behelfsverkehrsführung, Trennungssystem und bewertungsrelevanten Komponenten | Seite 2 |
| | Teil B: Beschreibung der bestehenden Wirkungszusammenhänge | Seite 3 |
| Anlage 3: | Unfallkategorien | Seite 7 |
| Anlage 4: | Unfalltypenkatalog | Seite 8 |
| Anlage 5: | Unfallartenkatalog | Seite 9 |
| Anlage 6: | Unfallursachenkatalog | Seite 10 |
| Anlage 7: | Unfallkostensätze | Seite 12 |
| Anlage 8: | Charakteristika der untersuchten Messstrecken | Seite 13 |
| Anlage 9: | Aufteilung der Verkehrsstärke auf die Fahrstreifen in den Messstrecken | Seite 23 |
| Anlage 10: | Empirisch ermittelte Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und mittlerer Geschwindigkeit (q-v-Diagramme) für unterschiedliche Behelfsverkehrsführungen (Basis: Erhebungsdaten der Messstrecken) | Seite 25 |
| Anlage 11: | Parameter der durch Regression ermittelten q-v-Funktionen | Seite 29 |
| Anlage 12: | Gewählte Ganglinienkombinationen für die Berechnung von Reisezeitverlusten mittels QuantAS | Seite 30 |
| Anlage 13: | Berechnungsergebnisse | Seite 31 |
| Anlage 14: | Blatt 1: Erfassungs- und Fragebogen (Fischer/Brannolte 2006) | Seite 82 |
| Anlage 15: | Fragebogen (Bark/Brannolte/Fischer et. al. 2006) | Seite 85 |